



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

TEMA:

“Análisis de una red de distribución neumática para el cálculo de la potencia de un compresor de velocidad variable, con motor de reluctancia variable y variador de frecuencia”

AUTOR:

Mendieta Bajaña, Víctor Alfonso

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TUTOR:

Ing. Alvarado Bustamante, Jimmy Salvador, MEGET

Guayaquil, Ecuador

Marzo del 2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Mendieta Bajaña, Víctor Alfonso**, como requerimiento para la obtención del Título de **INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TUTOR

Ing. Alvarado Bustamante, Jimmy Salvador, MEGET

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, M.Sc

Guayaquil, a los 18 días del mes de Marzo del 2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Mendieta Bajaña, Víctor Alfonso

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**Análisis de una red de distribución neumática para el cálculo de la potencia de un compresor de velocidad variable, con motor de reluctancia variable y variador de frecuencia**” previo a la obtención del Título de Ingeniero en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 18 días del mes de Marzo del año 2019

EL AUTOR:

Mendieta Bajaña, Víctor Alfonso



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, Mendieta Bajaña, Víctor Alfonso

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “**Análisis de una red de distribución neumática para el cálculo de la potencia de un compresor de velocidad variable, con motor de reluctancia variable y variador de frecuencia**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 18 días del mes de Marzo del año 2019

EL AUTOR:

Mendieta Bajaña, Víctor Alfonso



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

REPORTE URKUND

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

TEMA: "Análisis de una red de distribución neumática para el cálculo de la potencia de un compresor de velocidad variable, con motor de reluctancia variable y variador de frecuencia"

AUTOR: Mendieta Bajaña, Victor Alfonso

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

TUTOR: Ing. Alvarado Bustamante, Jimmy Salvador, MEGET

Guayaquil, Ecuador 11 de febrero del 2019

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

CERTIFICACIÓN Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por Mendieta Bajaña, Victor Alfonso, como requerimiento para la obtención del Título de Ingeniero en Eléctrico-Mecánica.

Reporte Urkund del trabajo de titulación en ingeniería Eléctrico-Mecánica denominado: **Análisis de una red de distribución neumática para el cálculo de la potencia de un compresor de velocidad variable, con motor de reluctancia variable y variador de frecuencia**, del estudiante **Mendieta Bajaña, Víctor Alfonso**, se encuentra al 1% de coincidencias.

Atentamente

Ing. Orlando Philco Asqui.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Romero Paz, Manuel De Jesús, M.Sc.

DECANO

Ing. Philco Asqui, Luis Orlando M.S.c

COORDINADOR DE TITULACIÓN

Ing. Luis Palau De la Rosa

OPONENTE

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios ya que sin él no hubiera conseguido alcanzar este objetivo planteado, también este agradecimiento es para mis profesores que me supieron guiar y compartir sus enseñanzas y en especial a mi tutor ing. Jimmy Alvarado que gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar con este trabajo.

A mi madre por ser ejemplo de esfuerzo y constancia para perseguir nuestras metas con dedicación y sacrificio y haberme enseñado valores que me hacen sentirme una persona digna de confianza, a mi padre por ser ese ángel de luz, a la cual siento y llevo en mi corazón sobre todo en los momentos difíciles para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

A mi esposa e hijo por ser las personas que me inspiran no solo a crecer profesionalmente sino también de forma espiritual, a mis hermanas y familiares que siempre me brindaron su apoyo y me impulsaban a continuar este camino de preparación académica.

Y muy en especial agradezco a mi madrina, base principal para lograr terminar mi carrera.

Victor Alfonso Mendieta Bajaña.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser ese pilar muy importante y por demostrarme siempre su apoyo incondicional.

A mi padre, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí. A mi esposa e hijo por su comprensión y tolerancia de horas de ausencia en mi hogar.

A mi madrina que es una persona muy especial para mí, a la cual aprecio y quiero mucho por ser pilar fundamental para lograr alcanzar este objetivo planteado.

A mis familiares, amigos y compañeros de aula por incentivarne a ser mejor cada día, tanto en lo profesional como en lo personal.

Victor Alfonso Mendieta Bajaña.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT	XVI
CAPÍTULO I.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Alcance.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación del problema.....	3
1.4. Objetivos	3
1.5. Hipótesis.....	3
1.6. Metodología	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO	5
Introducción a las redes de distribución neumática.....	5
2.1. Red neumática.....	5
2.2. Servicios de una red neumática.....	6
2.3. Esquema general de una red neumática	10
2.4. Componentes de una red neumática.....	13

2.4.1 Compresor	13
2.4.2 Clasificación de los compresores	14
2.4.3 Filtro del compresor	18
2.4.4 Post-enfriador	25
2.4.5 Tanques de almacenamiento	28
2.4.6 Secadores.....	29
2.4.7 Unidades de mantenimiento.....	31
2.5. Utilidades de los sistemas de aire comprimido	32
2.6. Motores de reluctancia variable	33
2.7. Variadores de frecuencia.....	39
2.8. Medición de calidad de energía.....	40
2.9. Emisiones al medio ambiente	41
2.10. Cálculos.....	43
2.10.1 Consumo de aire en un cilindro neumático	43
2.10.2 Pérdida de presión.....	44
2.10.3 Depósito de aire	44
2.10.4 Configuraciones de redes neumáticas.....	45
CAPITULO III	47
ANÁLISIS DE LA RED PARA EL CÁLCULO DE POTENCIA.....	47
3.1 Empresa alimenticia “Doña Juanita”	47
3.1.1 Situación actual	48
3.1.2 Solución propuesta	57
3.2 Análisis de costo beneficio.....	58
CAPITULO IV	61
ANALISIS RESULTADOS	61
4.1 Conclusiones	61

4.2 Recomendaciones	62
BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Red Neumática.....	6
Figura 2. Esquema general 1	11
Figura 3. Esquema de red de aire comprimido.....	11
Figura 4. Red de aire comprimido.....	12
Figura 5. Filtro de línea	12
Figura 6. Compresor.....	13
Figura 7. Compresor de embolo	15
Figura 8. Compresor de embolo oscilante.....	16
Figura 9. Compresor de membrana	16
Figura 10. Compresor de embolo rotativo.....	17
Figura 11. Filtro de línea	20
Figura 12. Datos técnicos del filtro de línea.....	22
Figura 13. Filtro de aire Estándar	22
Figura 14. Sistema reductor de cambio de presión	24
Figura 15. Post Enfriador	26
Figura 16. Tanques de almacenamiento	28
Figura 17. Accesorios de los tanques de almacenamiento	29
Figura 18. Regulador de presión	32
Figura 19. Esquema de flujo de aire.....	33
Figura 20. Sección de un motor paso a paso VR de tres fases	34
Figura 21. Motor VR de 4 polos.....	34
Figura 22. Paso producido por excitación fases conmutando de fase 1 a fase 2...	35

Figura 23. Secuencia de conmutación de un motor VR reluctancia de 3 fases.....	35
Figura 24. Sección de unos motores VR de 15° de ángulo de paso.	36
Figura 25. Sección de un motor VR de tres fases.	37
Figura 26. Modelo lineal del motor paso a paso de reluctancia variable	37
Figura 27. Sección de un motor paso a paso VR de cuatro fases.....	38
Figura 28. Estatory rotor de un motor de reluctancia variable de 4 fases y 7,5° ...	38
Figura 29. Esquema de variador de frecuencia	39
Figura 30. Control de frecuencia de variador.....	40
Figura 31. Analisis del ciclo de vida ISO 14040:2006.....	42
Figura 32. Red abierta	45
Figura 33. Red cerrada	46
Figura 34. Ubicación de la empresa	47
Figura 35. Organigrama de la empresa	48
Figura 36. Medición de Bar. Capacidad al 100%.....	54
Figura 37. Historial de consumo eléctrico - Doña Juanita	59
Figura 38. Norma ISO 8573-1.....	70
Figura 39. Entrada principal Empresa.....	91
Figura 40. Placa característica del motor del compresor.....	91
Figura 41. Placa del tanque de depósito del compresor	92
Figura 42. Compresor y secador instalado en la planta doña juanita	92
Figura 43. Secador del compresor.....	93
Figura 44. Maquina sacheteadora de 4 vias	93
Figura 45. Maquina taponadoras de tacho.....	94

Figura 46. Maquina taponadoras de tacho.....	95
Figura 47. Maquina taponadoras de tacho.....	95
Figura 48. Maquina dosificadora.....	96
Figura 49. Unidad de mantenimiento y válvulas de maquina embotelladora	97
Figura 50. Maquina Tapadora de salsa de tomate de galón	97
Figura 51. Maquina servilletera.....	98
Figura 52. Banda transportadora de salsa de tomate en galón	98
Figura 53. Maquina servilletera.....	99
Figura 54. Selladora de botellones de agua	99
Figura 55. Llenado y sellado de botellas de agua.....	100
Figura 56. Llenado y sellado de botellas de agua.....	100
Figura 57. Máquina de llenado y embotellado.	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Grado de pureza del aire según ISO 8573-1	21
Tabla 2. Características de filtración	21
Tabla 3. Tabla de presiones	25
Tabla 4. Ventajas y desventajas de los secadores	31
Tabla 5. Líneas de procesos Industrias de Alimentos Doña Juanita S.A	48
Tabla 6. Detalles del compresor en estudio	49
Tabla 7. Consumo de aire comprimido en las primeras 6 líneas	50
Tabla 9. Consumo de aire componentes de Servilletadora 2	52
Tabla 10. Consumo de aire componentes de sacheteadora 2	53
Tabla 8. Consumo de aire comprimido de las 2 nuevas líneas	53
Tabla 11. Demanda actual vs. demanda necesaria	55
Tabla 12. Resultados de evaluación de la demanda actual por líneas de proceso. 56	
Tabla 13. Versión SFC con variador de velocidad	57
Tabla 14. Tabla de consumo - Doña Juanita	59
Tabla 15. Comparación Gastos Mantenimiento	60

RESUMEN

El presente proyecto de análisis de la factibilidad de una red de distribución neumática para el cálculo de la potencia de un compresor de velocidad variable con motor de reluctancia variable y variador de frecuencia se basa en el levantamiento de información de una empresa dedicada a la producción alimenticia con 7 líneas de procesos, se basa en los cálculos sobre el volumen de carga y factor de simultaneidad de una red neumática, a fin de lograr un diseño más eficiente para el ahorro energético de un compresor de aire comprimido controlado a través de una interfaz proactiva y de fácil interpretación. La metodología aplicada es de tipo cuantitativo, cualitativo y experimental, con técnicas de observación de campo, revisión y monitoreo de los sistemas de la red neumática y la revisión documental al respecto de normativa internacional; así como el cálculo de consumo energético de la planta en sus presiones mínimas y máximas. Utilizando herramientas ofimáticas, herramientas para medir la calidad de energía y emisiones al ambiente. Se concluyó con un análisis de costo beneficio que demostró un ahorro significativo en dólares y lo atractivo que el proyecto de transición de un compresor de pistones hacia un compresor de tornillos representa para la industria alimenticia, la baja emisión de gases y de contaminantes químicos, los bajos costos de mantenimiento, el bajo nivel de ruido, el análisis técnico económico y la ventaja preponderante del equipo planteado.

Palabras clave: neumática, factor de simultaneidad, emisiones al ambiente, compresor de pistones, compresor de tornillo.

ABSTRACT

The present project of analysis of the feasibility of a pneumatic distribution network for the calculation of the power of a variable speed compressor with variable reluctance motor and frequency variator is based on the information gathering of a company dedicated to food production with 7 process lines, it is based on the calculations on the load volume and simultaneity factor of a pneumatic network, in order to achieve a more efficient design for the energy saving of a compressed air compressor controlled through a proactive interface and easy to interpret. The methodology applied is quantitative, qualitative and experimental, with techniques of field observation, review and monitoring of pneumatic network systems and documentary review of international regulations; as well as the calculation of energy consumption of the plant at its minimum and maximum pressures. Using office tools, tools to measure the quality of energy and emissions to the environment. It was concluded with a cost-benefit analysis that showed a significant saving in dollars and how attractive the project of transition from a piston compressor to a screw compressor represents for the food industry, the low emission of gases and chemical pollutants, low maintenance costs, low noise level, technical economic analysis and the preponderant advantage of the proposed equipment.

Key words: pneumatics, simultaneity factor, emissions to the environment, piston compressor, screw compressor.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Alcance

Los sistemas automatizados dentro de la industria son vitales en la productividad de las empresas, especialmente aquellas dedicadas a la producción de alimentos y bebidas para el consumo humano. Es por ello por lo que muchos profesionales en el campo eléctrico y mecánico han diseñado e implementado sofisticados sistemas para el proceso operativo de las mismas. Estos diseños se basan en datos desde un básico levantamiento de información al respecto de volúmenes de carga y factor de simultaneidad de una red neumática, detallando todas las variables para lograr el cálculo de un diseño más eficiente para el ahorro energético de diversas partes o piezas en la industrial que sea controlado a través de una interfaz proactiva y de fácil interpretación.

El detalle de las cargas a mover tanto para equipos y sistemas que estarán provistos de sus unidades individuales de mantenimiento, permitirán disminuir los daños que puedan sufrir los componentes de la red y para ello se utilizarán herramientas ofimáticas, herramientas para medir la calidad de energía, emisiones al ambiente para conocer de cerca el impacto ambiental de la solución y el ahorro en dólares que lo convierte en un atractivo proyecto para la industria alimenticia.

Al usar neumática esto resulta con un bajo costo para las industrias por sus componentes, su facilidad de implementación y diseño, lo que constituye un factor que también tienen un riesgo nulo de explosión y un mantenimiento económico lo que resulta conveniente para su implementación.

1.2. Planteamiento del problema

La empresa “Industrias de Alimentos Doña Juanita S.A.” ubicada en el km. 20 vía a la Costa, dedicada al proceso de semi elaborados alimenticios, mantiene una problemática que gira entorno al crecimiento de nuevas líneas de procesos, con el

actual sistema de red neumática que posee, no alcanzar a cubrir la demanda operativa y sus maquinarias resultan afectada, presentándose alarmas de baja presión en selladoras, sacheteadoras de líneas de empaque, obteniéndose una mala calidad del producto terminado, afectando directamente el cumplimiento de la calidad y producción planificado. Además de no cumplirse con los parámetros adecuados en las distintas líneas de proceso, se ocasionan reprocesos que afectan no solo a la producción sino también a factores de índole económico y por ende afectando la rentabilidad empresarial.

1.3. Justificación del problema

Para solucionar dicho problema en la empresa “Industrias de Alimentos Doña Juanita S.A.” se determinará la potencia de un compresor que ayudará a mantener una presión constante con los parámetros adecuados, aplicando tecnología que nos permitirá tomar en consideración el cuidado del medio ambiente con el ahorro de energía, y así obtener beneficios económicos en su futura implementación.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar la factibilidad de una red de distribución neumática para el cálculo de la potencia de un compresor de velocidad variable con motor de reluctancia variable y variador de frecuencia.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar la información recopilada de los componentes neumáticos de un sistema de aire comprimido que servirá para el análisis de la red.
- Calcular el consumo total de aire comprimido de un compresor mediante el volumen de carga y un factor de simultaneidad de su red neumática.
- Determinar la potencia del motor de un compresor de aire usando los datos del resultado de la demanda y las tablas del fabricante de la maquinaria.

1.5. Hipótesis

La implementación de una red de distribución neumática en la empresa “Industrias de Alimentos Doña Juanita S.A.” representará un mejoramiento significativo en sus líneas de producción.

1.6. Metodología

La metodología aplicada para este trabajo es de tipo cualitativa, cuantitativa y descriptiva, relacionada directamente con el levantamiento de actuadores neumáticos en la planta de “Industrias de Alimentos Doña Juanita S.A.” ubicada en el km. 20 vía a la Costa, sustentado en el informe entregado por parte de la empresa, que contiene datos necesarios para los cálculos requeridos.

Se utilizó la técnica de revisión documental, tanto para la recolección de datos básicos del equipo actual, su comportamiento al respecto del uso energético, así como la revisión de normativa internacional que permitió la comparación de equipos compresores, que cumplan y satisfagan las necesidades de producción de la empresa en estudio.

Por otro lado, se realizó la observación de campo, que permitió establecer, de primera mano y en el sitio, el comportamiento del compresor de pistones actualmente instalado, registrar sus variaciones de presión e identificar puntos críticos de producción en presiones máximas. La visita sirvió además, para observar el lugar de ubicación del nuevo compresor y realizar las respectivas recomendaciones de instalación cuando se haga la implementación.

Para el procesamiento de datos, se utilizó herramientas ofimáticas como Excell, en la que se realizó cálculos al respecto de los comportamientos energéticos, resultados de evaluación de la demanda actual por líneas de proceso, Comparación de Gastos por Mantenimiento, factibilidad económica y financiera, entre otros que fueron presentados en matrices de evaluación, tablas y gráficos que representan los comportamientos en la producción de la empresa.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Introducción a las redes de distribución neumática

El desarrollo de una automatización sofisticada en el mundo industrial ha sido un incentivo del rápido crecimiento del uso de componentes neumáticos, así lo afirma la industria. Los componentes neumáticos se han ido desplazando desde sectores fundamentales como, por ejemplo, el del automóvil, la electricidad, el procesamiento de alimentos y la técnica de embalajes hacia una amplia gama de campos industriales. Sus aplicaciones de alta tecnología están creciendo rápidamente, convirtiendo los sistemas neumáticos en elementos indispensables de los sectores de alta tecnología. Asimismo, los componentes neumáticos están desempeñando una función cada vez mayor en el campo de la medicina, del servicio de enfermería y del consumo, como la de alimentos (SMC, 2017).

Esta automatización es posible gracias a las bombas neumáticas que son herramientas de trabajo muy versátiles, con capacidad de bombear fluidos corrosivos, abrasivos o ambos en aplicaciones donde el punto de servicio y consistencia de servicio varía, presentando adaptabilidad a múltiples aplicaciones que les permite sean ampliamente utilizadas como bombas auxiliares y de trasvase. (Suhissa, 2018) Están diseñadas para satisfacer las más variadas exigencias de bombeo de productos de viscosidad muy elevada. Gracias al motor de aire comprimido, son indicadas incluso en ambientes con atmósfera potencialmente explosiva. (Suhissa, 2018)

En los siguientes apartados, veremos a profundidad la composición de una red neumática, sus componentes y beneficios, especialmente sus aplicaciones en la industria alimenticia.

2.1.Red neumática

En general, una red de aire comprimido de cualquier industria está constituida por los siguientes dispositivos (IberMaq, 2019):

- Filtro del compresor
- Compresor

- Post-enfriador
- Tanque de almacenamiento
- Filtros de línea
- Secadores
- Aplicaciones con sus purgas

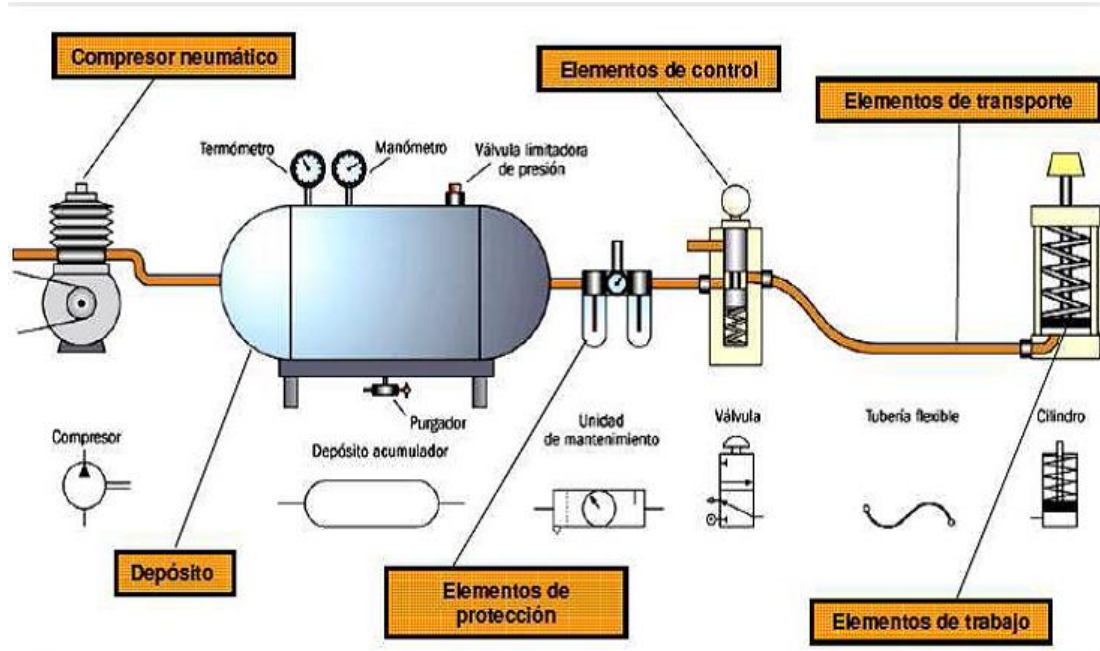


Figura 1. Red Neumática
Fuente: (IberMaq, 2019)

2.2. Servicios de una red neumática

La integridad de los procesos, el cumplimiento de las fórmulas y la fiabilidad de los productos son requisitos fundamentales en la industria alimentaria. Los aspectos de higiene y la facilidad de limpieza son vitales en esta industria. El proceso deberá permanecer cerrado, evitando por completo una contaminación de los medios de proceso, en todas las etapas de producción. Y las bombas son perfectas para el bombeo sanitario (Suhissa, 2018) de muchos alimentos y líquidos; su acción suave es perfecta para manejar productos sensibles y aquellos productos que emanan gases, tal como sucede al bombear levadura en la elaboración de cerveza. (Suhissa, 2018)

Las áreas de aplicación de las bombas en la industria de los alimentos y bebidas, se muestra a continuación:

- a) Transporte de medios viscosos y de baja viscosidad. Los productos más sensibles deben transportarse con el máximo cuidado, las bombas que transportan productos alimentarios durante su proceso de fabricación tienen dos prioridades básicas: higiene y manipulación suave. Que tenga un diseño herméticamente estancado, combinado con la baja velocidad de emboladas para proceso de elaboración de embutidos o productos de carne, así como pastas o agua mineral. (Suhissa, 2018)

- b) Garantía de calidad del producto terminado. Bombas higiénicas, precisas y son apreciadas por la simplicidad en su diseño, su bajo mantenimiento y sus clasificaciones de seguridad relativamente altas. (Suhissa, 2018)

- c) Dosificación precisa, proporcional y regulada de aditivos. Diseñadas para dosificar con precisión, la adición de aromas, ácidos, vitaminas y colorantes, en productos lácteos o como otras bases de aplicaciones alimentarias. Diseñadas para cumplir con los requerimientos asociados con cada producto medido, con la precisión requerida y los procesos operativos implementados. Cada tecnología usada proporciona la mejor de sus ventajas en cuanto a la precisión, las pérdidas de producto, el respeto a las texturas, la productividad y la facilidad de limpieza. (Suhissa, 2018)

- d) Reducción de periodos de inactividad y bajos costos de mantenimiento. Entre sus ventajas se incluye la reducción del tiempo de reparación, la reducción del consumo de energía, reducción de desechos químicos, así como la reducción de la producción perdida, entre otras reducciones relacionadas con los gastos operativos. (Suhissa, 2018)

- e) Mezcla, dispersión, homogenización. De leche, productos lácteos, mantequilla, embutidos, entre otros. Ofrecimiento de bombas de medición y dosificación precisas. (Suhissa, 2018)

Envasado. La creación de productos alimenticios innovadores depende de una solución eficiente de llenado, que sea capaz de cumplir con el carácter complejo de las mezclas, recetas y técnicas de acondicionamiento. Actualmente la creatividad con respecto a los contenedores y la diversidad de texturas parece ilimitada. (Suhissa, 2018)

Regulación de temperatura. Las empresas que se dedican a la industria de los alimentos y necesitan la regulación de temperatura, afrontan retos y procesos con cambios y oscilaciones de temperatura de fluidos de alimentación en poco tiempo, además de necesitar gran seguridad operativa y fiabilidad, todo mediante procesos rentables y sostenibles, como las bombas neumáticas.

Superior aprovisionamiento de higiene. Son especialmente diseñadas para aplicaciones estériles en la industria alimentaria, farmacéutica y biotecnológica. Su diseño especial con el sistema de limpieza integrado con altos resultados, permite limpieza CIP y esterilización SIP, ambas in situ.

Otros de los beneficios que tienen las redes neumáticas en la industria de los alimentos, es que son perfectas para una limpieza impecable del lugar (CIP, por sus siglas en inglés) y la esterilización en el lugar (SIP, por sus siglas en inglés), características que son vitales para la correcta manufactura de los alimentos y bebidas. Las bombas de diafragma y de líquido neumáticas permiten limpiar en línea, sin la necesidad de desmantelar la bomba, lo que es remunerable al ahorrar tiempo y reducir costos.

Se reducen los riesgos de crecimiento bacteriano debido a que la acción del bombeo permite que se deslice por completo y que por su acción natural, la bomba pueda drenarse automáticamente. Cuando se aumenta el volumen de una cámara de cualquier tipo de bomba (el diafragma sube), la presión disminuye y el fluido entra a la cámara. Cuando la presión de la cámara aumenta más tarde, a partir de un volumen disminuido, el diafragma se mueve hacia abajo y el fluido previamente aspirado se expulsa (Suhissa, 2018).

Lamentablemente, las enfermedades y alergias derivadas de alimentos contaminados son bastante frecuentes, es por ello que esto presenta desafíos a los fabricantes de alimentos y bebidas, de los cuales la reputación y marca dependen de la consistencia y la integridad de sus productos (Suhissa, 2018).

Entre otras aplicaciones de la red neumática y como lo menciona Intec (2018), las aplicaciones de esta tecnología son verdaderamente amplias; se utiliza en la industria química, textil, el transporte o la carpintería metálica, y el aprovechamiento del aire comprimido es visible hoy en muchos elementos cotidianos, como por ejemplo los sistemas de apertura y cierre de transporte público, como trenes o autobuses, pero también las aspiradoras o los sopletes de pintura. (Intec, 2018)

El mercado de la neumática ofrece una gran serie de elementos neumáticos adaptados a cualquier aplicación los cuales resultan útiles al permitir realizar un trabajo físico que en ocasiones no puede desempeñar el hombre, o integran componentes de sistemas sin los cuales sería imposible obtener un resultado final. El aprovechamiento de la energía del aire para realizar trabajo se puede apreciar en diferentes aplicaciones (Intec, 2018) tales como:

- a) El control de apertura y cierre de puertas: En vehículos de servicio público, en conjuntos cerrados. El principio de funcionamiento consiste en accionar un cilindro el cual mediante la energía del aire a una presión determinada mediante un movimiento lineal permite el desplazamiento de un resorte mecánico el cuál se estira cerrando la puerta y al recuperar su posición inicial (al contraerse) la abre. (Intec, 2018)
- b) La utilización de la fresa en el consultorio de odontología: Esta herramienta trabaja con la energía que le suministra el aire a presión permitiendo el movimiento rotativo para obturar. (Intec, 2018)
- c) Limpieza a presión para limpiar: Los sopletes y las aspiradoras aprovechan la presión del aire para recoger impurezas o al contrario expulsan el aire con fuerza para desalojar partículas que se encuentran en áreas de difícil acceso. También se utiliza la presión del aire en los sopletes para pintar vehículos u otros artefactos logrando una gran homogeneidad en la superficie. (Intec, 2018)
- d) Para elevar y bajar cargas en los montacargas: El funcionamiento es a través de un cilindro de doble efecto, ya que permite el movimiento en dos direcciones hacia arriba, y hacia abajo. También permite mantener la carga elevada durante un determinado tiempo mediante un enclavamiento. (Intec, 2018)
- e) La bomba de acción manual: Nos permite suministrar aire a los neumáticos de los vehículos de transporte, a los balones y bombas mediante la impulsión del

vástago de manera consecutiva y a una presión alta y uniforme para obtener un buen caudal de aire. (Intec, 2018)

2.3. Esquema general de una red neumática

Los sistemas neumáticos se complementan con los eléctricos y electrónicos, lo que les permite obtener un alto grado de sofisticación y flexibilidad. Utilizan válvula y solenoide, señales de realimentación de interruptores magnéticos, sensores e interruptores eléctricos de final de carrera. (Media, 2016)

Las redes de distribución de aire comprimido surgen para poder abastecer de aire a todas las máquinas y equipos que lo precisen, por lo que se debe tender una red de conductos desde el compresor y después de haber pasado por el acondicionamiento de aire, es necesario un depósito acumulador, donde se almacene aire comprimido entre unos valores mínimos y máximos de presión, para garantizar el suministro uniforme incluso en los momentos de mayor demanda.

El diámetro de las tuberías se debe elegir para que si aumenta el consumo, la pérdida de presión entre el depósito y el punto de consumo no exceda de 0,1 bar. Cuando se planifica una red de distribución de aire comprimido hay que pensar en posibles ampliaciones de las instalaciones con un incremento en la demanda de aire, por lo que las tuberías deben dimensionarse holgadamente.

Las conducciones requieren un mantenimiento periódico, por lo que no deben instalarse empotradas; para favorecer la condensación deben tenderse con una pendiente de entre el 1 y el 2% en el sentido de circulación del aire, y estar dotadas a intervalos regulares de tomas por su parte inferior, con las purgas correspondientes para facilitar la evacuación del condensado.

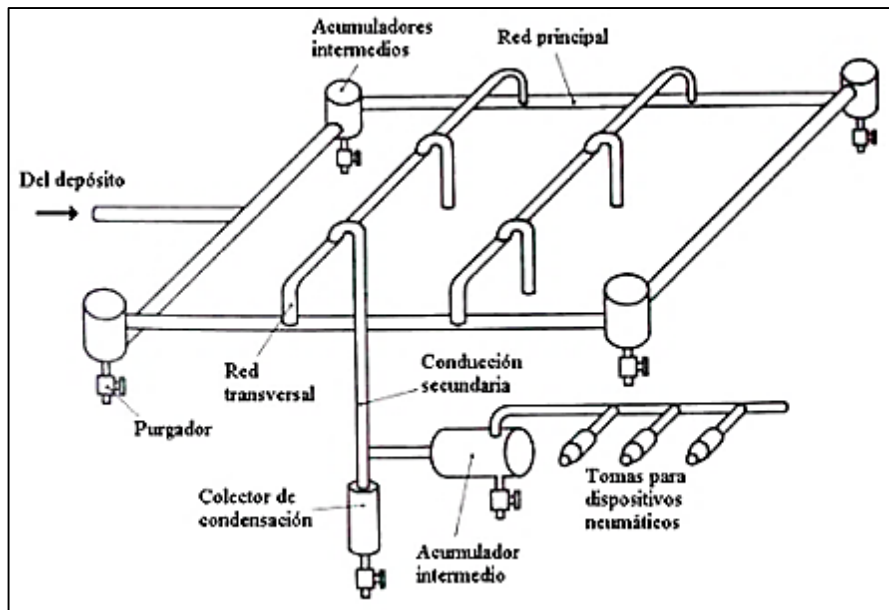


Figura 2. Esquema general 1
 Fuente: (e-ducativa.catedu.e)

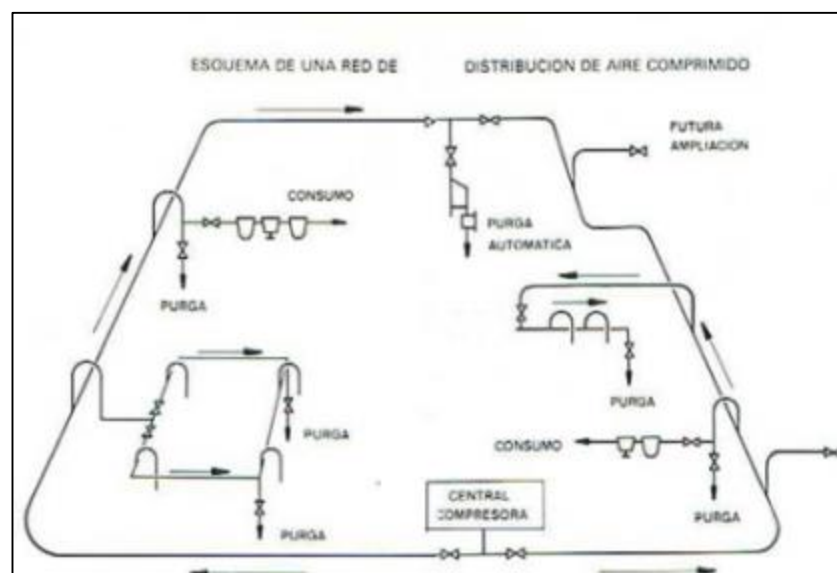


Figura 3. Esquema de red de aire comprimido
 Fuente: (e-ducativa.catedu.e)

Los materiales adecuados para construir una red de distribución deben cumplir una serie de condiciones: deben asegurar bajas pérdidas de presión, limitación de fugas, ser resistentes a la corrosión, permitir posibles ampliaciones y tener un precio reducido. Por todo ello y para los distintos tipos de instalación, las conducciones pueden ser de: cobre, latón, acero galvanizado, polietileno o poliamida. (Murillo, .2017.).

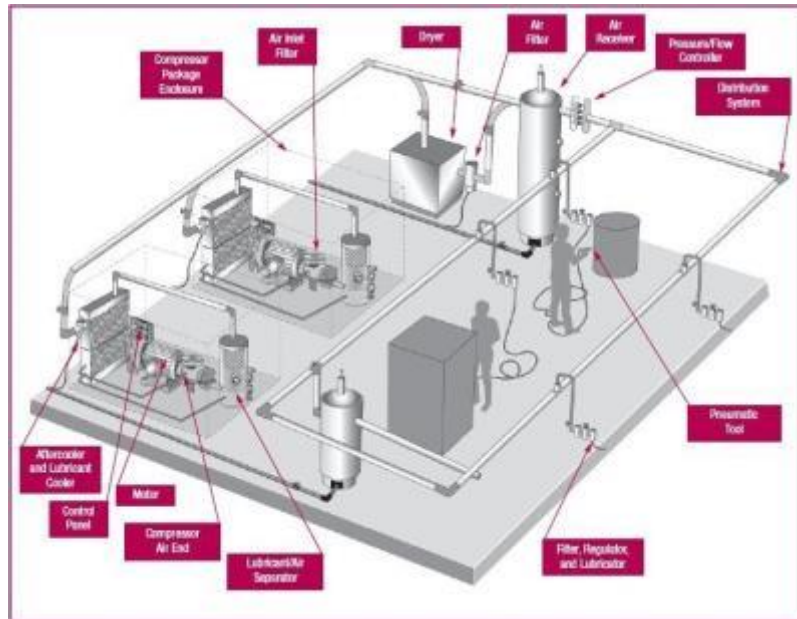


Figura 4. Red de aire comprimido
Fuente: (e-ducativa.catedu.e)

Los filtros del compresor, son utilizados para eliminar las impurezas del aire antes de la compresión con el fin de proteger al compresor y evitar el ingreso de contaminantes al sistema (IberMaq, 2019).

Un filtro de línea es un equipo que se utiliza para el tratamiento del aire comprimido. Su principal misión es limpiar el aire comprimido de impurezas de todo tipo, incluso bacterianas (Mundo Compresor, 2019).

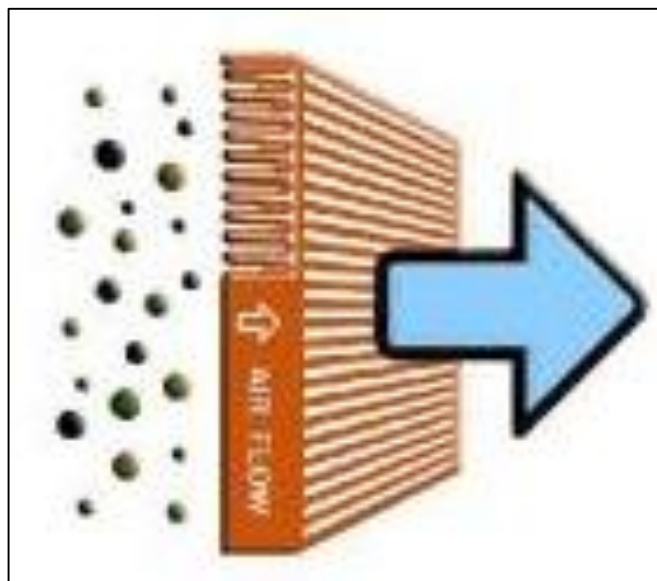


Figura 5. Filtro de línea
Fuente: Mundo Compresor (2019)

Los filtros son los grandes aliados en las instalaciones de aire comprimido o gases. Con ellos adaptamos la calidad del aire/gas a los requisitos de cada planta. Habitualmente, la forma de estimar el nivel de calidad de aire se realiza siguiendo los parámetros de la norma ISO 8573-1 (Veáse *Anexo 1. Norma ISO 8573-1*). Esta normativa regula el nivel máximo de contaminantes en el aire comprimido, en lo referido a la cantidad de humedad, partículas y residual de aceite (Mundo Compresor, 2019).

2.4. Componentes de una red neumática

2.4.1 Compresor

Es el encargado de convertir la energía mecánica, en energía neumática comprimiendo el aire. La conexión del compresor a la red debe ser flexible para evitar la transmisión de vibraciones debidas al funcionamiento del mismo (IberMaj, 2019).

También se determina como una máquina que eleva la presión de un gas, un vapor o una mezcla de gases y vapores. La presión del fluido se eleva reduciendo el volumen específico del mismo durante su paso a través del compresor. En cuanto a la presión de salida, los compresores se clasifican generalmente como máquinas de alta presión (EcuRed, 2013).



Figura 6. Compresor
Fuente: (EcuRed, 2013)

La importancia de los compresores radica en que se emplean para aumentar la presión de una gran variedad de gases y vapores para varias aplicaciones. Un caso común es el compresor de aire, que suministra aire a elevada presión para transporte, pintura a pistola, inflamiento de neumáticos, limpieza, herramientas neumáticas y perforadoras. Otro ejemplo es el compresor de refrigeración, empleado para comprimir el gas del vaporizador. Además, se utiliza en aplicaciones que abarcan procesos químicos, conducción de gases, turbinas de gas y construcción (EcuRed, 2013).

2.4.2 Clasificación de los compresores

Se clasifican según su forma constructiva: Los compresores volumétricos se subdividen en cuatro de émbolo, de rotor, los de paletas en centrífugos y axiales. Es posible la división de los compresores en grupos de acuerdo con el género de gas que se desplaza, del tipo de transmisión y de la destinación del compresor (EcuRed, 2013).

Según las exigencias referentes a la presión de trabajo y al caudal de suministro, se pueden emplear diversos tipos de construcción. Se distinguen dos tipos básicos de compresores (EcuRed, 2013):

1. El primero trabaja según el principio de desplazamiento. La compresión se obtiene por la Admisión del aire en un recinto Hermético, donde se reduce luego el volumen. Se utiliza en el compresor de émbolo (oscilante o rotativo).
2. El otro trabaja según el principio de la dinámica de los fluidos. El aire es aspirado por un lado y comprimido como consecuencia de la aceleración de la masa (turbina).

- **Compresores de émbolo**

Compresor de émbolo oscilante. Este es el tipo de compresor más difundido actualmente. Es apropiado para comprimir a baja, media o alta presión. (Alvarado, Tecnología neumática y sus aplicaciones, 1989) Su campo de trabajo se extiende desde unos 1 .100 kPa (1 bar) a varios miles de kPa (bar).

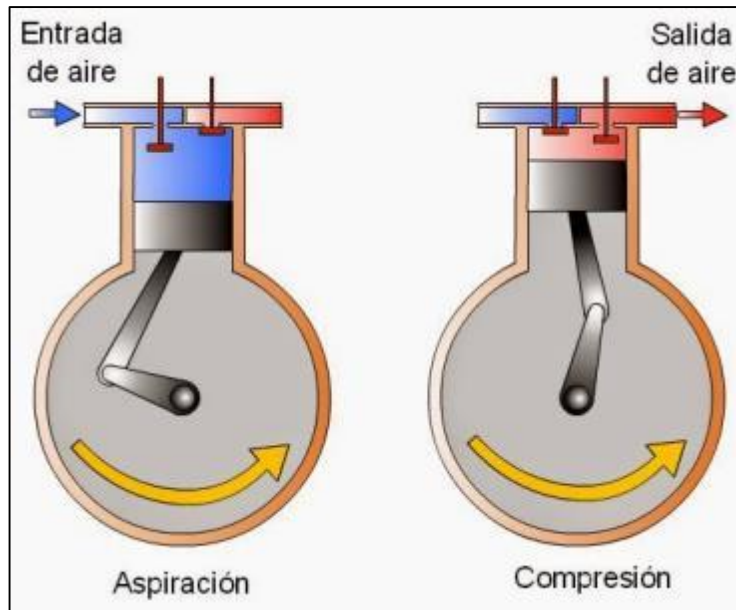


Figura 7. Compresor de émbolo
Fuente: (Gaona, 2015)

- **Compresor de émbolo oscilante**

Para obtener el aire a presiones elevadas, es necesario disponer varias etapas compresoras. El aire aspirado se somete a una compresión previa por el primer émbolo, seguidamente se refrigera, para luego ser comprimido por el siguiente émbolo. El volumen de la segunda cámara de compresión es, en conformidad con la relación, más pequeño. Durante el trabajo de compresión se forma una cantidad de calor, que tiene que ser evacuada por el sistema refrigeración. Los compresores de émbolo oscilante pueden refrigerarse por aire o por agua. (EcuRed, 2013)

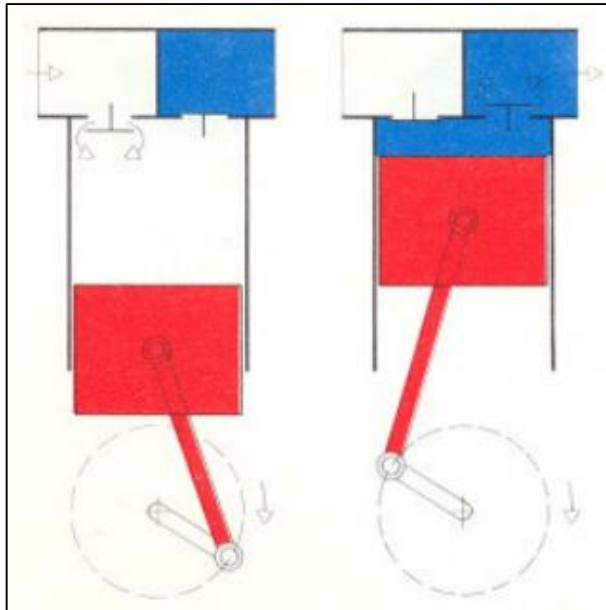


Figura 8. Compresor de embolo oscilante
 Fuente: (Hidroneumatica aplicada, 2014)

- **Compresor de membrana**

Este tipo forma parte del grupo de compresores de émbolo. Una membrana separa el Émbolo de la cámara de trabajo; el aire no entra en contacto con las piezas móviles. Por tanto, en todo caso, el aire comprimido estará exento de aceite. Estos, compresores se emplean con preferencia en las Industrias alimenticias Farmacéuticas y Químicas. (EcuRed, 2013)

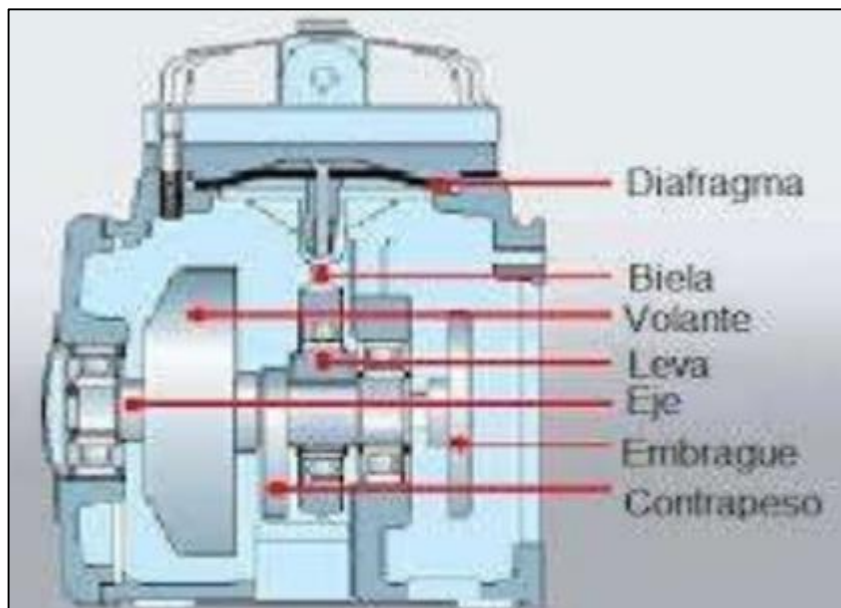
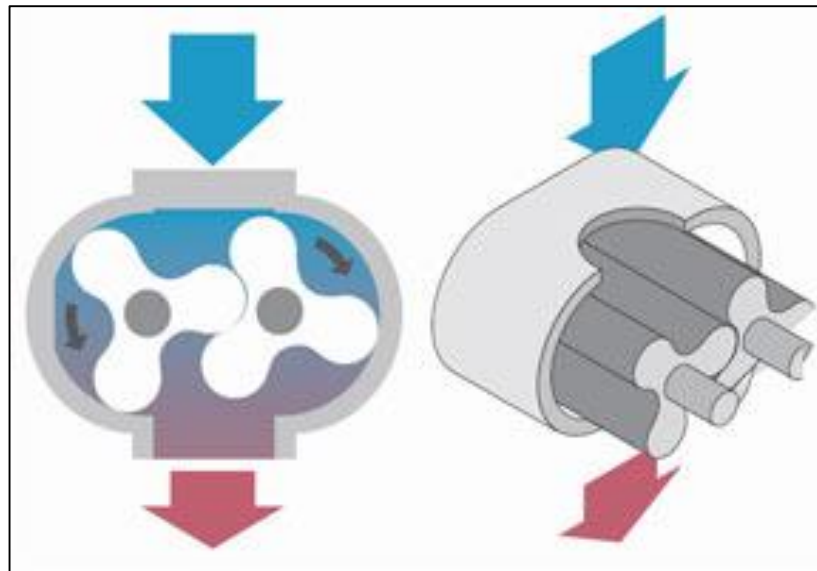


Figura 9. Compresor de membrana
 Fuente: (Martinez, 2013)

- **Compresor de émbolo rotativo**

Consiste en un émbolo que está animado de un movimiento rotatorio. El aire es comprimido por la continua reducción del volumen en un recinto hermético. Compresor rotativo multicelular. Un rotor excéntrico gira en el interior de un cárter Cilíndrico provisto de ranuras de entrada y de salida. Las ventajas de este compresor residen en sus dimensiones reducidas, su funcionamiento silencioso y su caudal prácticamente uniforme y sin sacudidas. (EcuRed, 2013)

El rotor está provisto de un cierto número de aletas que se deslizan en el interior de las ranuras y forman las células con la pared del cárter. Cuando el rotor gira, las aletas son oprimidas por la fuerza centrífuga contra la pared del cárter, y debido a la excentricidad el volumen de las células varía constantemente. (EcuRed, 2013)



*Figura 10. Compresor de émbolo rotativo
Fuente: (Mapner, 2018)*

- **Compresor de tornillo**

Dos tornillos helicoidales que engranan con sus perfiles cóncavo y convexo impulsan hacia el otro lado el aire aspirado axialmente. En estos compresores, el aire es llevado de un lado a otro sin que el volumen sea modificado. En el lado de impulsión, la estanqueidad se asegura mediante los bordes de los émbolos rotativos. (EcuRed, 2013)



Fuente: (Mapner, 2018)
Figura 10. Compresor de tornillo

- **Compresor Roots**

Turbocompresores trabajan según el principio de la dinámica de los fluidos, y son muy apropiados para grandes caudales. Se fabrican de tipo axial y radial. El aire se pone en circulación por medio de una o varias ruedas de turbina. Esta Energía Cinética se convierte en una Energía Elástica de compresión. La rotación de los alabes acelera el aire en sentido axial de flujo. (Alvarado, Tecnología neumática y sus aplicaciones, 1989) (EcuRed, 2013)

2.4.3 Filtro del compresor

En filtros de los compresores tenemos según su aplicación como describimos a continuación.

Según su aplicación existen:

- **Pre-filtros**

Son los primeros filtros que se instalan después de los compresores. Su principal misión es eliminar las partículas gruesas que podrían ser aspiradas por el compresor. Son, en sí mismos, los filtros protectores de la red de filtrado que se instale a continuación. La mayoría de los fabricantes ofrecen estos filtros con capacidad coalescente, es decir, que pueden eliminar una pequeña cantidad de agua y aceite al mismo tiempo que eliminan las partículas sólidas. Su capacidad de filtrado suele ser superior a 1 micra y 1 mg/m³ de aceite. (Mundo Compresor, 2019)

- **Filtros intermedios**

Se instalan a continuación de los pre-filtros y su misión es proteger los distintos accesorios y equipos que se instalan en la red de aire. Sus características se determinan en función de la calidad de aire requerida. (Mundo Compresor, 2019)

- **Filtros de partículas**

Son como los pre-filtros pero de un mayor grado de filtrado. Para partículas hasta 0,1 micras y para aceite o agua hasta 0,1 m³/m³. En la salida de los secadores de adsorción se suelen colocar estos filtros con un grado de 1 micra. (Mundo Compresor, 2019)

- **Filtros de carbón activo.**

Dedicados a la eliminación de vapores y olores de aceite. No los eliminan del todo, pero el residual que dejan es muy pequeño. Como media 0,003 mg/m³. (Mundo Compresor, 2019)

- **Torres de carbón activo.**

Se emplean para reducir al máximo los residuales de vapor de aceite y olores, con la idea de ser usadas en sistemas de respiración humana. (Mundo Compresor, 2019)

- **Filtros catalizadores**

Utilizados en sistemas de respiración humana para la eliminación del Monóxido de Carbono (CO). (Mundo Compresor, 2019)

- **Filtros finales**

En este grupo incluimos todos los filtros específicos de protección del sistema antes de su uso final. (Mundo Compresor, 2019)

- **Filtros reguladores**

Son pequeños filtros que se instalan sobre la máquina de accionamiento neumático. Están formados por un filtro de partículas y un regulador de presión. Para máquinas que necesitan lubricación, el propio equipo de filtrado monta un lubricador. Estos equipos son conocidos habitualmente como FRL. (Mundo Compresor, 2019)

- **Filtros bactericidas**

Muy utilizados en aplicaciones medicinales o en laboratorios. Se utilizan para la eliminación de determinadas bacterias en el aire comprimido. Su mantenimiento requiere de una esterilización periódica. Dependiendo de cada fabricante, ésta se puede realizar con vapor o por autoclave. Tienen una vida útil muy corta, determinada por el número máximo de esterilizaciones admitidas. (Mundo Compresor, 2019)

- **Filtros de línea**

Se encargan de purificar el aire hasta una calidad adecuada para el promedio de aplicaciones conectadas a la red (IberMaq, 2019) Estos filtros están constituidos por capacitores e inductores. Sirven para filtrar (o atenuar) la radio-frecuencia que circula por la línea de alimentación (GM Electrónica, 2019).



Figura 11. Filtro de línea
Fuente: (CECCATO, 2018)

El aire atmosférico contiene ya en su origen impurezas como: polvos, varias formas de hidrocarburos y agua bajo forma de humedad, que una vez aspirada por el compresor es comprimida y enviada en línea junto a eventuales partes oleosas. Estos agentes de contaminación, en interacción entre ellos, pueden generar unas emulsiones abrasivas y corrosivas, capaces de dañar las líneas de distribución, los aparatos neumáticos y el producto mismo. Todo esto lleva entonces a: pérdidas de aires en las tuberías, mayores costos de mantenimiento a las máquinas de producción, reducciones en la producción, pérdida en el producto e imagen de la firma. La automatización

creciente de las instalaciones, el empleo de aparatos más y más sofisticados, necesitan aire comprimido siempre más limpio de aquellas impurezas que normalmente contiene (CECCATO, 2018).

Tabla 1. Grado de pureza del aire según ISO 8573-1

<i>ISO 8573-1</i>	<i>Aceite</i>	<i>Polvos</i>	<i>Agua</i>
Clase ISO	Concentración	Dimensión	Concentración
			Punto de rocío
			de Contenido agua
1	0,01 mg/m ³	0,1 µm	0,01 mg/m ³
			- 70 °C
2	0,1 mg/m ³	1 µm	0,1 mg/m ³
			- 40 °C
3	1,0 mg/m ³	5 µm	5 mg/m ³
			- 20 °C
4	5 mg/m ³	15 µm	8 mg/m ³
			+ 3 °C
5	25 mg/m ³	40 µm	10 mg/m ³
			+ 7 °C
6			+ 10 °C
			9,4 g/m ³

Fuente: (CECCATO, 2018)

Elaborado por: Autor (2019)

Tabla 2. Características de filtración

<i>Serie</i>	<i>Filtración</i>	<i>Eficiencia</i>	<i>Aceite residuo</i>	<i>Perdidas de carga inicial</i>		<i>ISO 8573-1</i>	
	µm	%	mg/m ³	mbar	psi	Aceite	Polvos
FMO	1	99,9	0,1	30	0,43	2	2
FMM	0,1	99,9999	0,01	90	1,30	1	1
FCA	-	-	0,0005	70	1,01	1	-
FPRO	3	90,9	-	20	0,29	4	3

Fuente: CECCATO (2018)

Elaborado por: Autor (2019)

DATOS TÉCNICOS											
Tipo	①			bar	psi	gas (F)	A	B	C	D	kg
	l/1'	m³/h	cfm								
10	1.000	60	35	16	232	3/8"	187	88	21	60	1,1
13	1.300	78	46	16	232	1/2"	187	88	21	60	1,1
20	2.000	120	71	16	232	3/4"	256	88	21	80	1,2
33	3.300	198	117	16	232	1"	262	125	33	100	2,7
60	5.580	335	197	16	232	1"	362	125	33	120	3,2
85	8.500	510	300	16	232	1 1/2"	452	125	33	140	3,7
130	13.000	780	459	16	232	1 1/2"	643	125	33	160	4,8
170	16.600	996	586	16	232	2"	695	136	48	520	8,8
250	25.000	1.500	883	16	232	2"	935	136	48	770	13,5
400	40.000	2.400	1.413	16	174	3"	1.070	248	74	780	30,5

① Condiciones de referencia: Presión 7 bar (100 psi) ; Temperatura 20 °C
 ② La clase ISO que se refiere al agua no está en función de las características del filtro.
 Temperaturas de ejercicio máximas: 65°C para serie FMO – FMM – FPRO ; 35 °C para serie FCA




Figura 12. Datos técnicos del filtro de línea

Fuente: CECCATO (2018)

2.4.3.1 Estructura de los filtros

La estructura de los filtros es muy similar entre los distintos fabricantes. Cambia principalmente el diseño interno, para mejorar las pérdidas de carga, la calidad de los materiales de los elementos filtrantes, el grado de eficiencia y el diseño del propio elemento (Mundo Compressor, 2019).

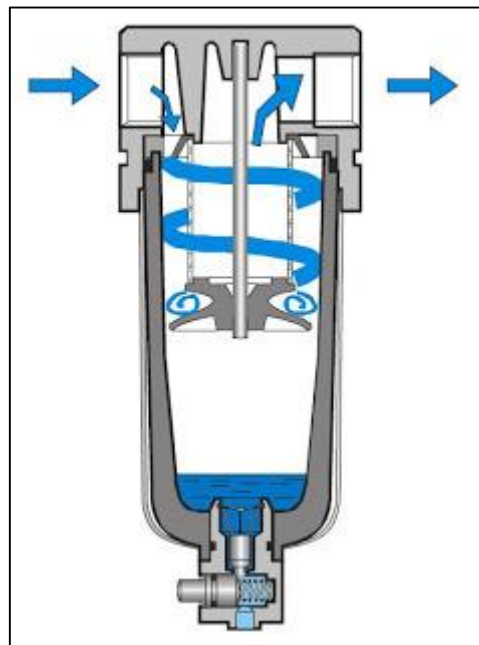


Figura 13. Filtro de aire Estándar

Fuente: (Tema fantastico, S.A, 2010)

Tiene como objetivo eliminar las partículas en suspensión del aire. Las partículas sólidas, procedentes del exterior de la red y tomadas durante la fase de aspiración o

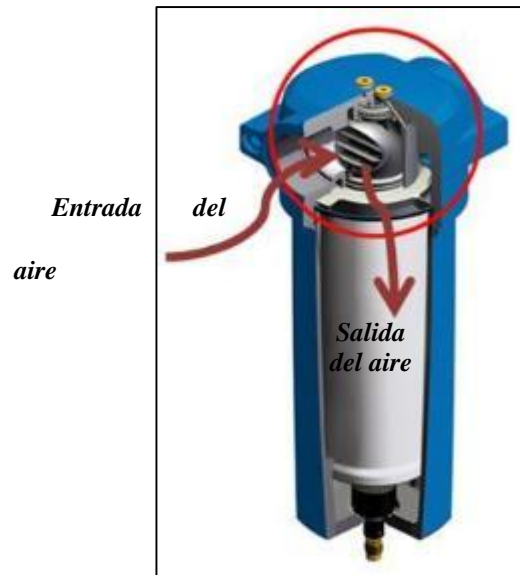
por desprendimiento de partículas metálicas de la propia red. Las partículas líquidas, agua y aceite, que aún queden en la instalación.

El filtro estándar consta de un recipiente en el que entra el aire y pasa a través de una placa deflectora, con ranuras oblicuas. Esta placa desvía el aire y provoca su centrifugado. Las partículas sólidas se desprenden al chocar contra las paredes del vaso y caen al fondo. A continuación, el aire pasa a través de un filtro con una porosidad entre 5 y 45 micras, según el grado de filtrado que se precise. (Industrial automática, 2010)

2.4.3.2 Instalación de los filtros

Para el diseño de la instalación de aire comprimido es necesario calcular la presión requerida para el compresor, a través de un estudio de la presión necesaria en la maquinaria a usar y sumarle a la misma la presión equivalente a las pérdidas de carga, que tanto la tubería de interconexión como los diferentes equipos instalados en ella van a crear. (Mundo Compresor, 2019) El filtro de aire comprimido es uno de los equipos que crea esa pérdida de carga son los filtros, por lo que hay que considerar el tiempo de los accesorios ya que la instalación será más eficiente cuanto mejor se determine el número de filtros necesarios y sus características (Mundo Compresor, 2019).

En la siguiente imagen, se ve un ejemplo con un filtro de Compresores. Justamente en la entrada de aire tiene instalado un ingenioso sistema, que reduce la pérdida de presión que se produce cuando el aire comprimido entra en el filtro y realiza un cambio brusco de dirección para ir a encontrarse con el elemento filtrante. (Mundo Compresor, 2019)



*Figura 14. Sistema reductor de cambio de presión
Fuente: (Mundo Compresor, 2019)*

El valor de caída de presión que producen los filtros puede parecer pequeño, pero esta es constante, es decir, que una pérdida de presión de 200 gr., tendrá que ser compensada con un mayor consumo en el compresor para el resto de la vida de la instalación (Mundo Compresor, 2019).

Para seleccionar el filtro adecuado a la instalación que estamos diseñando, debemos tener en cuenta varios aspectos (Mundo Compresor, 2019)s:

- La calidad del aire comprimido que queremos conseguir. Éste es un aspecto vital de nuestra selección, porque determinará la elección del tipo de filtros, grado de filtración y número de filtros a instalar. (Mundo Compresor, 2019)
- El tamaño del filtro. Estará determinado por el caudal y la presión del sistema de aire comprimido. (Mundo Compresor, 2019)
- Tipo de filtro. Analizaremos si podemos usar filtros con carcasas de aluminio o acero, si es necesario un proceso de esterilización o el sistema de control de saturación y calidad del aire comprimido. (Mundo Compresor, 2019)

Los fabricantes suelen incluir en sus catálogos unas tablas de corrección sobre el caudal indicado. Estas tablas muestran la eficiencia del filtro, en función de la presión de trabajo. La mayoría de los datos sobre el caudal indicado en los catálogos se refieren a una presión de 7 barg. Cuando haya que trabajar a una presión diferente, habrá que corregir el caudal en función de la citada presión. (Mundo Compresor, 2019) En la tabla siguiente se puede ver que para presiones por debajo de 7 bar, la capacidad de filtrado

se reduce y por el contrario a presiones superiores la capacidad de filtrado aumenta.
(Mundo Compresor, 2019)

Tabla 3. Tabla de presiones

Presión de la Tuberías	bar g	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	psi g	15	29	44	58	73	87	100	116	131	145	160	174	189	203	218	232
Factor de corrección		0.38	0.53	0.65	0.76	0.85	0.93	1.00	1.07	1.13	1.19	1.25	1.31	1.36	1.41	1.46	1.51

Fuente: (Mundo Compresor, 2019)

Elaborado por: Autor (2019)

Un último dato importante es que la información referida en las especificaciones de los filtros siempre está considerada a una temperatura de 21°C, esto quiere decir que, con un sistema de refrigeración por aire en el compresor, la temperatura ambiente debería ser de 10°C para la mayoría de los fabricantes (Mundo Compresor, 2019).

Cualquier temperatura superior va a perjudicar la eliminación del aceite por filtrado, debido a que este factor influye en la capacidad de separación. En condiciones normales de funcionamiento, una cadena de filtrado compuesta por pre-filtro, post-filtro y filtro de carbón activo, puede dejar un residual de aceite de 0,003 mg/m³ aproximadamente (Mundo Compresor, 2019).

2.4.4 Post-enfriador

Es el encargado de eliminar gran parte del agua que se encuentra naturalmente dentro del aire en forma de humedad. (IberMaq, 2019)

Al salir de la unidad compresora, el aire comprimido posee una gran cantidad de agua. Esta se presenta en forma de vapor debido a la alta temperatura de descarga. A medida que el aire se enfría la humedad relativa aumenta hasta 100%, es decir que se llega a la saturación. A partir de este punto, cada descenso de grado de temperatura propicia condensación de vapor, tornándolo a este en agua en estado líquido (Moto Compresores, 2016).



Figura 15. Post Enfriador
Fuente: (Moto Compresores, 2016)

En un compresor a tornillo la temperatura de salida del aire comprimido es de 10 a 20°C por encima de la temperatura ambiente, para la mayoría de las aplicaciones neumáticas el aire debe ser previamente enfriado y secado para evitar el deterioro de los dispositivos neumáticos de la línea (válvulas, pistones, etc.). El Post-Enfriador, consigue reducir la temperatura del aire y condensar cierta cantidad de agua, la que queda retenida en un decantador y posteriormente es drenada por un sistema de purga automática. Este equipo también es recomendado en líneas que tienen sistemas refrigerados con secador frigorífico ya que es necesario un previo enfriamiento del aire para hacer más eficiente el secado (Moto Compresores, 2016), algunos son para evitar los condensados del proceso de compresión, otros son para eliminar arrastre de partículas tales como óxidos y suciedades de las cañerías, y algunos son para purificar el aire para usos medicinales, humanos y alimenticios (Moto Compresores, 2016).

Para el caso particular del uso de los Post-Enfriadores, la forma de trabajo de estos equipos es producir un intercambio con el medio ambiente, lo cual produce un punto de rocío un par de grados (de 3 °C a 5 °C) por encima de la temperatura ambiente, eliminando de esta manera se elimina del 90% al 95% del agua producto de la saturación del aire comprimido debido a la Humedad Relativa (Moto Compresores, 2016).

2.4.4.1 Diseño de un post-enfriador

El diseño básico de un post-enfriador es un haz de tubos dentro de una coraza, de una sola pasada y con flujos en sentido contrario. En la mayor de las veces el aire comprimido (fluido caliente) circula por el interior del haz de tubos. El agua de enfriamiento (fluido frío) circula a contracorriente del aire comprimido por el exterior del haz tubular separados únicamente por la pared del tubo. Al final del haz de tubos debe de haber un separador de humedad integrado al post-enfriador que tiene por objeto eliminar el agua y el aceite condensados durante la refrigeración.

La eficiencia real de un post-enfriador se mide por la temperatura de acercamiento real (no la de diseño) que tiene al momento de estar en operación:

$$\Delta t = T2 - t1$$

En donde,

T2 = Temperatura de salida del aire

t1 = Temperatura de entrada del agua

Eficiencia,

$\Delta t = 5$ a 7 °C => alto rendimiento

$\Delta t = 7$ a 10 °C => buen rendimiento

$\Delta t = 10$ a 12 °C => escaso rendimiento

$\Delta t = 12$ a 15 °C => mal rendimiento

$\Delta t > 15$ °C => inadmisibles

Por lo tanto, se debe tener cuidado de que el agua de enfriamiento sea lo más fría posible si queremos que el aire comprimido salga del postenfriador exento de la mayor parte de humedad que contenía. Se recomienda que la temperatura del agua, como medio refrigerante, sea de 10 a 15 °C. De igual manera, es conveniente no utilizar agua de elevada dureza para la refrigeración para evitar las incrustaciones. Por cada 11°C (20°F) que baje la temperatura del aire comprimido, la capacidad de retención de humedad se reduce en 50% (Indupym, 2019; Axis, 2019).

2.4.5 Tanques de almacenamiento

Almacena energía neumática y permite el asentamiento de partículas y humedad (IberMaq, 2019)



Figura 16. Tanques de almacenamiento
Fuente: (Kaeser Compresores, 2019)

Los tanques de aire comprimido desempeñan una función muy importante en la estación de aire comprimido por su volumen de almacenamiento (ASERPRO, 2015) y amortiguación: compensan las fluctuaciones de la demanda y, con frecuencia, separan el condensado del aire comprimido. (ASERPRO, 2015) Por esta razón, elegir el tanque de tamaño correcto será de gran importancia para conseguir una protección confiable contra la corrosión. Los intervalos de control deberán ser lo más largos posible. Los tanques de aire comprimido cumplen todos estos requisitos de forma ejemplar (Kaeser Compresores, 2019).

Los juegos de accesorios adaptados y diseñados a la medida de cada aplicación, por ejemplo; con llave de bola, válvula de seguridad, manómetro, llave de purga, juntas, adaptadores y piezas pequeñas, simplifican la instalación. Los drenajes electrónicos de condensado son la garantía para una mayor seguridad operativa y el cumplimiento de normas ambientales y de tratamiento de aguas residuales. Se entregan como sets completos, con todas las piezas de montaje, y existe uno adecuado para cada tanque de aire comprimido (Kaeser Compresores, 2019).



Figura 17. Accesorios de los tanques de almacenamiento
Fuente: (Kaeser Compresores, 2019)

Los tipos de tanques se determinan como horizontales y verticales. Sus capacidades son comerciales e industriales (SEEPSA, 2019).

2.4.6 Secadores

Se utilizan para aplicaciones que requieren un aire supremamente seco (IberMaq, 2019). Un secador de aire comprimido es una máquina que reduce significativamente el contenido de humedad en el aire del ambiente o en el caudal de aire. Los secadores de aire ayudan al tratamiento del aire comprimido, haciendo que sea más limpia y la humedad no genere mayor corrosión en los equipos o conexiones neumáticas. Existen diferentes tipos de secadores, el uso de cada uno dependerá de los niveles de humedad y temperatura ambiente (EACSA, 2017).

- **Tipos de secadores**

Los secadores pueden ser Secadores refrigerantes divididos en Cíclicos y No cíclicos y los Secadores desecantes que se diferencian principalmente entre cada tipo de secador por el agente colocado dentro de la máquina para secar el aire entrante. (EACSA, 2017)

- **Secadores refrigerativos**

Los secadores refrigerantes son el tipo más popular y generalizado, funcionan de manera similar a los refrigeradores caseros en que se emplea un proceso de enfriamiento que evita la humedad. En un secador refrigerante, el aire comprimido se enfría a unos 35 grados Fahrenheit (1.666 ° Celsius). Después de que el aire haya pasado a través de la válvula de entrada, la humedad es extraída y drenada, y el aire recién secado es recalentado por el aire entrante. Al final de cada ciclo, el aire comprimido que se produce tiene un punto de rocío dentro de un rango de 35 a 40 grados Fahrenheit. En general, el proceso de un secador refrigerativo crea un ambiente de trabajo con menor humedad eliminando los contaminantes y el efecto corrosivo de la misma (EACSA, 2017).

Los secadores refrigerantes cíclicos utilizan refrigerante para enfriar una masa de glicol o de aluminio, que rodea el paso de aire. A continuación, el aire comprimido se enfría mediante un disipador de calor controlado por termostato (EACSA, 2017).

Tabla 4. Ventajas y desventajas de los secadores

	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Refrigerantes en general	<ul style="list-style-type: none"> • Bajos costos de mantenimiento. • Resistente a las partículas de aceite suspendidas en el aire. • Fácil de instalar. • Fácil y económica de operar. 	Capacidad mínima de punto de rocío.
Secadores refrigerantes no-cíclicos	<ul style="list-style-type: none"> • Punto de rocío constante. • Funcionamiento continuo 	No conservan la energía durante flujo menor de aire. <ul style="list-style-type: none"> • Punto de rocío variable. • Más grande y más pesado debido al disipador de calor.
Secadores refrigerante cíclicos	Conservan energía durante el flujo de aire bajo	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de mantenimiento más altos.

*Fuente: (Energía en aire comprimido, 2017) (EACSA, 2017)
Elaborado por: Autor (2019)*

2.4.7 Unidades de mantenimiento

Unidades de mantenimiento (Filtro, reguladores de presión y lubricador) y secadores adicionales (IberMaq, 2019). Esta unidad filtra, regula y lubrica el aire del circuito en líneas de 1/2". Este filtro de aire con regulador para compresor y lubricador para herramientas neumáticas previene el posible deterioro de las herramientas que genera la humedad y permite controlar la presión de salida del compresor de forma precisa, además lubrica la herramienta de forma automática. Esta unidad sirve para secar y drenar el aire comprimido protegiendo las herramientas y mejorando los acabados en pintura, limpieza, etc (BT Ingenieros, 2017).



*Figura 18. Regulador de presión
Fuente: (Meclube, 2019)*

2.5.Utilidades de los sistemas de aire comprimido

Los sistemas de aire comprimido proporcionan un movimiento controlado con el empleo de cilindros y motores neumáticos, y se aplica en herramientas, válvulas de control y posicionadores, martillos neumáticos, pistolas para pintar, motores neumáticos, robots industriales, vibradores, frenos neumáticos, etc. (VDocuments, 2017)

Las propiedades del aire comprimido que han sido cruciales para su uso popular son:

- Es abundante en la naturaleza, esa disponible para su compresión prácticamente en todo el mundo. (Alvarado, Tecnología neumática y sus aplicaciones, 1989)
- Puede ser transportada fácilmente por tuberías, incluso a grandes distancias y no es necesario poner tuberías de retorno. (Alvarado, Tecnología neumática y sus aplicaciones, 1989)
- Tiene poca sensibilidad a temperaturas extremas, garantizando un trabajo seguro.

- Se puede almacenar sin sufrir ningún cambio, ya sea en depósitos para luego se (Cyr sistemas, 2019). Es un medio muy limpio en casos de estanqueidad en tuberías o elementos.

En el cálculo de la rentabilidad es necesario tener en cuenta, no solo el bajo costo de energía, sino también los costos que se producen en total, en un análisis detallado, resulta que el costo energético es despreciable junto a los costos de mantenimiento. (Alvarado, 1989)

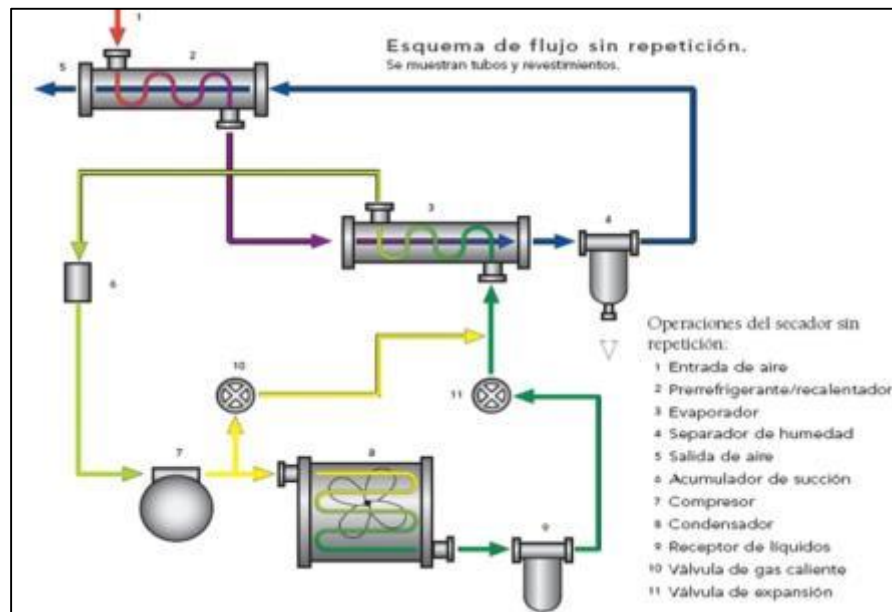


Figura 19. Esquema de flujo de aire
Fuente: (Cyr sistemas, 2019)

2.6. Motores de reluctancia variable

El motor de reluctancia variable está constituido por un rotor de láminas ferromagnéticas no imantadas, formando un cilindro alrededor del eje, éstas se encuentran ranuradas de forma longitudinal, formando dientes (polos del rotor). La ranuración del rotor conlleva una variación de la reluctancia en función de su posición angular. (Alciro, 2007)

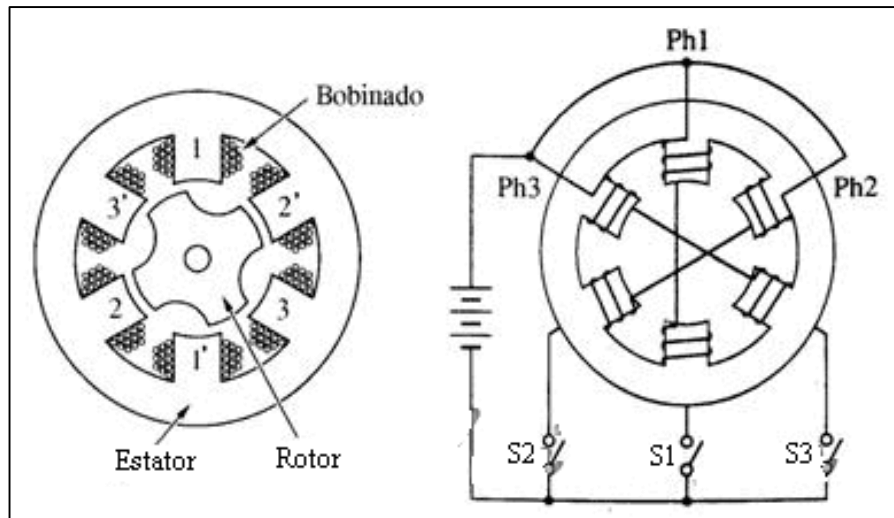


Figura 20. Sección de un motor paso a paso VR de tres fases
Fuente: (Alciro, 2007)

Igualmente, que el rotor, el estator está formado por láminas de material ferro magnético no imantado, con una serie de ranuras en forma longitudinal, que albergan los bobinados de las fases, y forman los polos del estator. (Alciro, 2007)

Normalmente la constitución del rotor y el estator es a base de láminas ferromagnéticas, pero también se pueden encontrar unidades con constitución sólida de hierro dulce. El número de dientes del rotor es menor que el número de dientes del estator, de modo que sólo un par de polos del estator y su correspondiente par de polos del rotor pueden estar alineados por fase. La figura 22 representa un motor VR de tres fases con seis polos en el estator y cuatro en el rotor. Cada fase dispone de dos bobinados, situados en polos opuestos. También nos muestra una conexión de los bobinados en serie, pudiéndose conectar igualmente en paralelo. (Alciro, 2007)

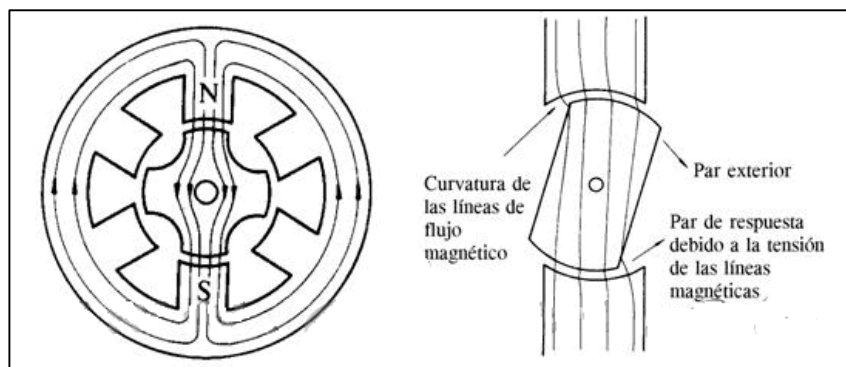


Figura 21. Motor VR de 4 polos
Fuente: (Alciro, 2007)

Unos interruptores de potencia se encargan de suministrar la corriente a cada fase. Si S1 está en estado ON, la corriente fluye por la fase 1 y 1', generando un flujo magnético que recorre el estator y se cierra por los polos correspondientes a la fase 1 sobre los polos del rotor. Cuando los polos del rotor y el estator estén alineados, tenemos el flujo máximo, que corresponde con la reluctancia mínima. Si el rotor se mueve fuera de la posición de equilibrio, como consecuencia de un par externo aplicado al rotor, éste responde con un par en sentido contrario que se opone al movimiento; esto es resultado de la curvatura que sufren las líneas de flujo magnético entre los polos del rotor y el estator. Las líneas de flujo magnético tienden a estar paralelas entre sí, y a circular por el elemento más permeable que encuentren; cuando son deformadas, generan una fuerza de atracción sobre los elementos en los que fluyen, intentando mantener el equilibrio. Una muestra de esto lo representa la figura 23 (b). (Alciro, 2007)

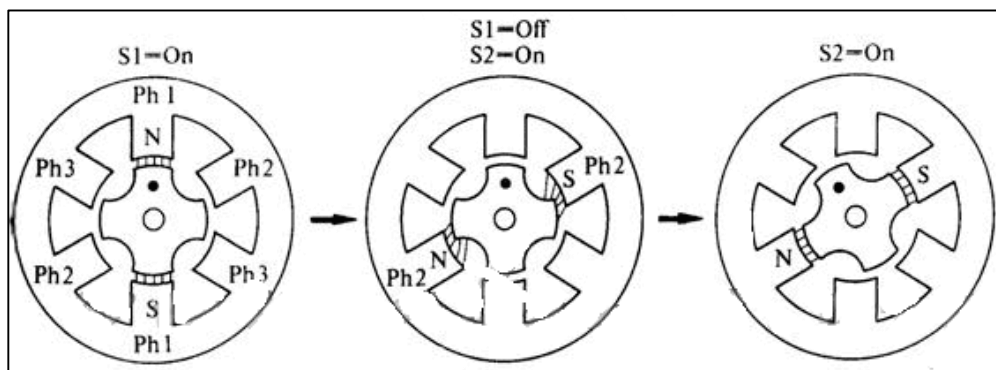


Figura 22. Paso producido por excitación fases conmutando de fase 1 a fase 2

Fuente: (Alciro, 2007)

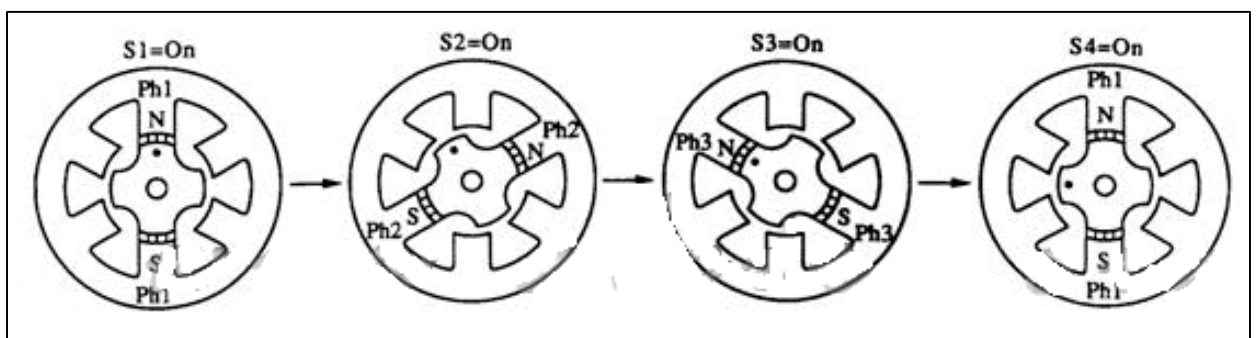


Figura 23. Secuencia de conmutación de un motor VR reluctancia de 3 fases

Fuente: (Alciro, 2007)

Partiendo de la posición de equilibrio con la fase 1 activada (figura 24 (a)). Un paso se obtiene situando la fase 1 a estado OFF y la fase 2 a estado ON; en este instante los polos del rotor más próximos a los polos de la fase dos del estator, son atraídos en el

intento de circular las líneas de flujo magnético (figura 24 (b)), produciendo un movimiento de rotación entre ambos polos hasta quedar alineados (figura 24 (c)). Con esta operación obtenemos un paso del rotor.

La figura 25 muestra la secuencia de avance en sentido anti horario de un motor VR de cuatro polos, resultado de la secuencia de activación (Ph1-Ph2-Ph3-Ph1) de las fases del estator.

El número de pasos para estos motores se calcula de la misma forma que en los motores de imán permanente, fórmulas (1) y (2). Tomando el motor de la figura 26, tenemos cuatro polos en el estator y tres fases en el rotor, por consiguiente, el número de pasos por vuelta del rotor es $3 \cdot 4 = 12$. El ángulo del paso será $360^\circ / 12 = 30^\circ$.

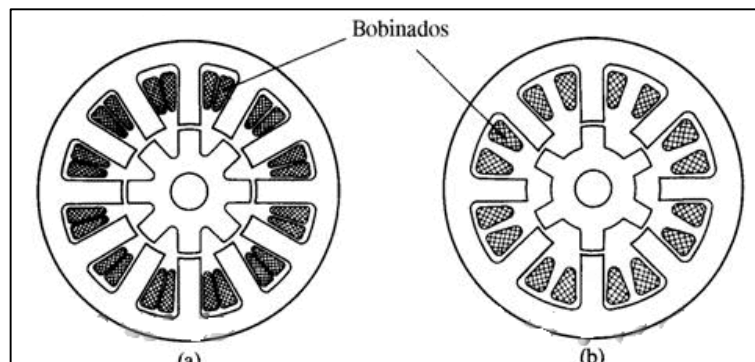


Figura 24. Sección de unos motores VR de 15° de ángulo de paso.
Fuente: (Alciro, 2007)

- (a) Motor de tres fases: número de polos del estator = 12; número de polos del rotor = 8.
- (b) Motor de cuatro fases: número de polos en el estator = 8; número de polos en el rotor = 6

Para obtener un ángulo de paso determinado, se puede optar por diferentes combinaciones, jugando con el número de fases. La figura anterior, muestra dos motores con ángulos de paso de 15° , el primero con tres fases en el estator y ocho polos en el rotor, el segundo con cuatro fases en el estator y ocho polos en el rotor. Hasta el momento, todos los motores de los que se ha tratado tienen un ángulo de paso grande. Para obtener ángulos de paso pequeños, lo único que se tiene que hacer es aumentar el número de polos (dientes) del rotor (figura 26). La configuración del estator sigue siendo la misma, se mantiene el número de fases, pero los polos se encuentran ranurados en varios dientes, para obtener la confrontación con los polos del rotor y que queden alineados.

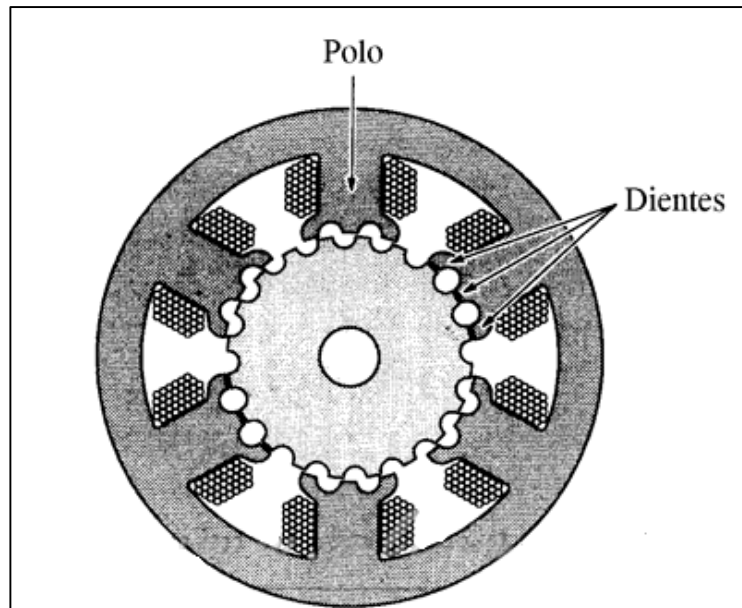


Figura 25. Sección de un motor VR de tres fases.
Fuente: Alciro (2007)

Dos bobinados por fase y tres dientes por polo en el estator; el número de dientes en el rotor es de 20 y el ángulo del paso es de 6° (Alciro, 2007)

La figura anterior, muestra una distribución lineal de los polos del rotor y el estator, representando el flujo magnético y el desplazamiento en un paso. Un motor con ángulos pequeños 1.8° y un número de pasos elevado 200, lo muestra la figura 21. El rotor dispone de 50 dientes. El estator tiene 8 bobinados 8 polos ranurados en 5 dientes. El número de fases puede ser cuatro, uniendo los bobinados 1-5 (fase 1), 2-6 (fase 2), 3-7 (fase 3), 4-8 (fase 4). Pero también se puede realizar en dos fases, uniendo los bobinados 1-2-5-7 (fase 1) y 2-4-6-8 (fase 2); en este caso el número de pasos sería inferior (100) y los dientes de los polos del estator correspondientes a la misma fase, tienen que confrontar con los del rotor. (Alciro, 2007)

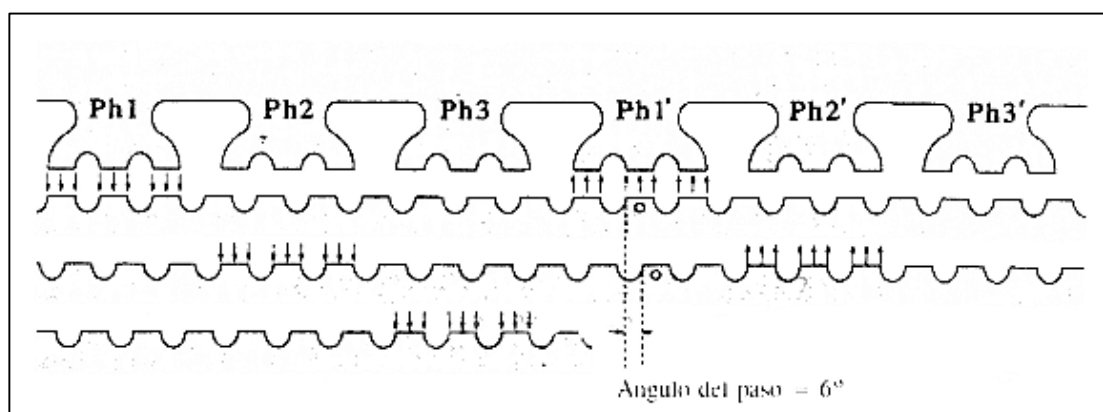
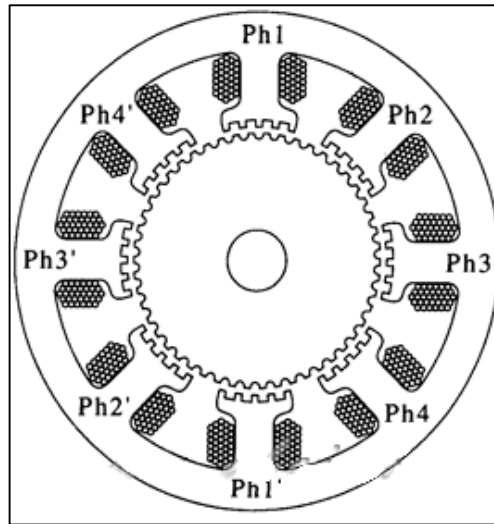


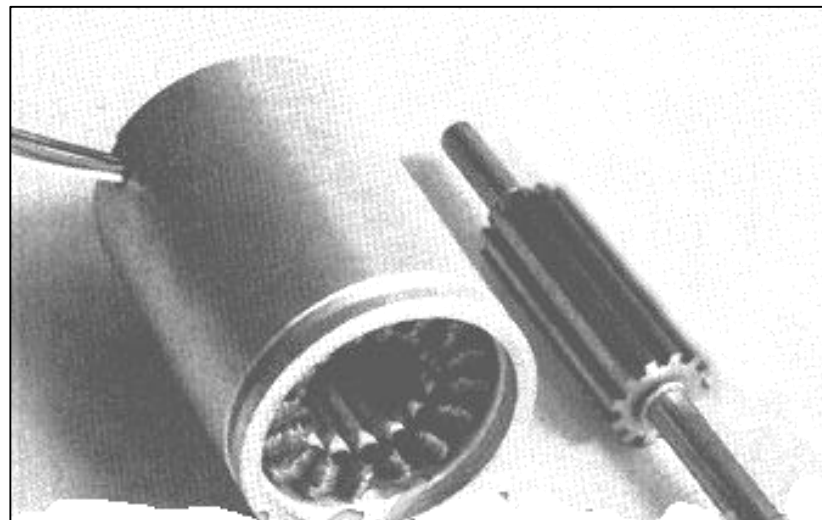
Figura 26. Modelo lineal del motor paso a paso de reluctancia variable
Fuente: Alciro (2007)

Una muestra de las dimensiones tan reducidas que se pueden obtener en este tipo de motores lo ilustra la figura anterior (Alciro, 2007); esto es debido a que al no tener imán permanente el rotor puede ser minimizado, dando lugar a motores de diámetro muy pequeño. Un segundo efecto en la reducción del diámetro del rotor es la disminución del momento de inercia de éste. Cuando tiene una carga baja, este motor ofrece una relación de giro muy alta.



*Figura 27. Sección de un motor paso a paso VR de cuatro fases.
Fuente: Alciro (2007)*

El número de dientes en el rotor es de 50, los pasos por revolución son 200, el ángulo del paso es de $1,8^\circ$.



*Figura 28. Estator rotor de un motor de reluctancia variable de 4 fases y $7,5^\circ$
Fuente: Alciro (2007)*

En cuanto al control de la velocidad con motor de reluctancia, el motor de reluctancia reúne las ventajas de los motores asíncronos y síncronos en un solo accionamiento. El motor no lleva ni aluminio, ni cobre, ni imanes de tierras raras, lo cual hace que el accionamiento sea resistente y sencillo de mantener. Además, el principio de operación del motor evita que se produzcan pérdidas de calor, con lo que se reduce notablemente la temperatura de los rodamientos, esto permite alargar su vida de servicio y la del motor. Este motor, perfectamente ajustado al convertidor de frecuencia, presenta unas pérdidas mucho menores que los motores asíncronos, sobre todo en carga parcial.

2.7. Variadores de frecuencia

Los variadores de frecuencia son sistemas utilizados para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna. Un variador de frecuencia son vertientes de un variador de velocidad, ya que llevan un control de frecuencia de alimentación, la cual se suministra por un motor. Otra forma en que son conocidos los variadores de frecuencia es como Drivers ya sea de frecuencia ajustable (ADF) o de CA, VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia), micro drivers o inversores; esto depende en gran parte del voltaje que se maneje. (Quiminet, 2016)

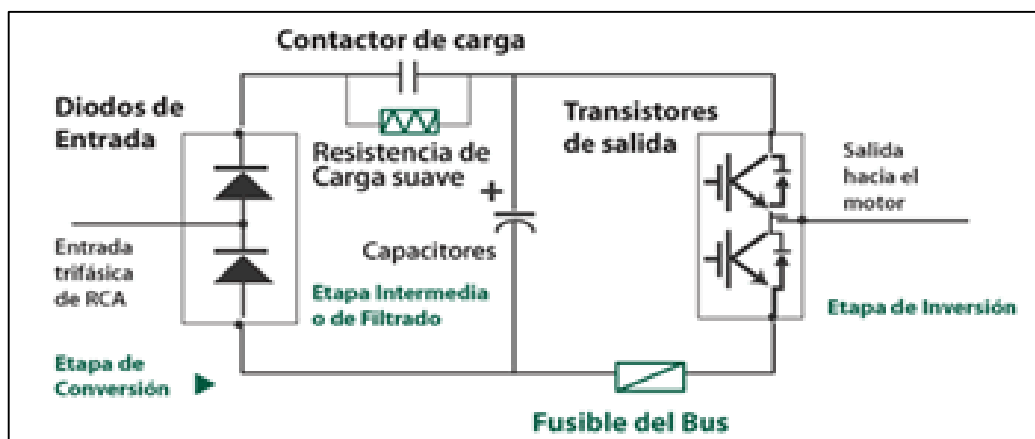


Figura 29. Esquema de variador de frecuencia
Fuente: (Quiminet, 2016)

Se alimenta al equipo con un voltaje de corriente alterna (CA), el equipo primero convierte la CA en corriente directa (CD), por medio de un puente rectificador (diodos o SCR's), este voltaje es filtrado por un banco de capacitores interno, con el fin de suavizar el voltaje rectificado y reducir la emisión de variaciones en la señal; posteriormente en la etapa de inversión, la cual está compuesta por transistores

(IGBT), que encienden y apagan en determinada secuencia (enviando pulsos) para generar una forma de onda cuadrada de voltaje de CD a un frecuencia constante y su valor promedio tiene la forma de onda senoidal de la frecuencia que se aplica al motor. El proceso de conmutación de los transistores es llamado PWM "Pulse Width Modulation" Modulación por ancho de pulso.

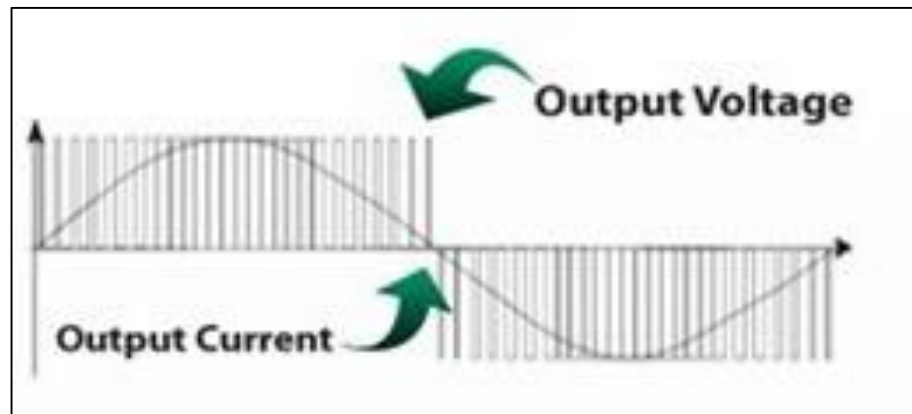


Figura 30. Control de frecuencia de variador
Fuente: (Quiminet, 2016)

Al tener control en la frecuencia de la onda de corriente podemos también controlar la velocidad del motor de acuerdo a la siguiente fórmula: (QuimiNet, 2011)

$$N_m = \frac{120 \times f(1 - s)}{P}$$

N_m = velocidad mecánica [rpm]

F = frecuencia de alimentación (Hz)

s = deslizamiento (adimensional)

P = número de polos

2.8. Medición de calidad de energía

Una fuente de alimentación eléctrica eficiente proporciona una forma de onda de voltaje sinusoidal de frecuencia constante con una magnitud invariable. Las fuentes de alimentación no son ideales ya que las cargas del sistema son cambiantes, y pueden producirse fenómenos transitorios y apagones. Si la calidad de la energía de la red es buena, sus cargas conectadas funcionarán de una manera eficiente. Sin embargo, una

calidad de energía baja puede provocar daños en la maquinaria, en los sistemas de control eléctrico o en los ordenadores conectados a la red de suministro. (Rohde & Schwarz, 2019)

Las mediciones de la calidad de la energía determinan el grado en que un suministro práctico se acerca a un modelo ideal, en términos de potencia reactiva, contaminación armónica y desequilibrio de carga. Esto implica mediciones en el suministro de: frecuencia, interrupciones, parpadeo, voltaje armónico e inter-armónico, variaciones de voltaje, sobrevoltaje temporal y desequilibrio del mismo. (Rohde & Schwarz, 2019)

2.9.Emisiones al medio ambiente

Existen varios indicadores para determinar cuál es el impacto sobre el medio ambiente que tienen los productos que consumimos. Una estrategia que ha demostrado ser más eficiente es el Análisis del Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en inglés). Un estudio que evalúa la cadena de valor de un producto o servicio para así saber cuáles son los puntos de mayor impacto sobre el ambiente y así poder trabajar sobre estos de forma eficiente. (El espectador, 2017)

Según la norma ISO 14040: 2006, hay cuatro fases en un estudio, mostradas a continuación:

- a) ***Definición de objetivos y alcances***: En esta fase se exponen los motivos por los que se desarrolla el estudio y se establece el alcance donde se define la amplitud, profundidad y detalle del estudio. (Rodríguez, 2019)
- b) ***Inventario del Ciclo de Vida (ICV)***: Durante esta etapa se identifican y cuantifican todas las entradas (consumo de recursos y materiales) y salidas (emisiones al aire, suelo, aguas y generación de residuos) que pueden causar un impacto durante el ciclo de vida de un producto. Los datos obtenidos en esta fase

son el punto de partida para la evaluación de impactos del ciclo de vida. (Montalve, 2016)

- c) **Evaluación de los Impactos del Ciclo de Vida (EICV):** Durante esta etapa se relacionan las entradas y salidas seleccionadas en el inventario con los posibles impactos sobre el medio ambiente, la salud humana y los recursos, con el fin de clasificar, caracterizar y valorar la importancia que los potenciales impactos generan. (Rodríguez, 2019)
- d) **Interpretación de resultados:** La interpretación es la combinación de los resultados del (ICV) y la (EICV), con la finalidad de extraer, de acuerdo a los objetivos y alcances planteados, conclusiones y recomendaciones que permitan la toma de decisiones. A veces, puede implicar un proceso dinámico de revisión y actualización del alcance, así como de la naturaleza y la calidad de los datos recopilados para que sean coherentes con el objetivo y el alcance. (Rodríguez, 2019)



Figura 31. Análisis del ciclo de vida ISO 14040:2006
Fuente: Rodríguez (2019)

2.10. Cálculos

2.10.1 Consumo de aire en un cilindro neumático

El consumo de aire de un cilindro es una función de la relación de compresión, del área del pistón y de la carrera, según la fórmula (VDocuments, 2017):

$$\text{Consumo de aire} = \text{Relación de compresión} \times \text{Área del pistón} \times \text{carrera} \times \text{Ciclos/minuto}$$

La relación de compresión referida al nivel del mar está dada por:

$$\frac{0.987 + P_{\text{aire}}(\text{bar})}{0.987}$$

El volumen de aire requerido para una carrera del pistón expresado en dm^3 es:

$$\text{Volumen}(\text{dm}^3) = \frac{\pi}{4} \times \frac{D^2(\text{mm}^2)}{1000} \times \frac{l(\text{mm})}{100} = \frac{\pi \times D^2 \times l}{4000000}$$

Y para un cilindro de diámetro 63 mm, con vástago de carrera 160 mm, presión de aire 6 bar (VDocuments, 2017), es:

$$V(\text{dm}^3) = \frac{\pi \times 63^2 \times 160}{4000000} = 0.498759 \text{ dm}^3$$

El consumo de aire en condiciones normales de presión y temperatura en un cilindro de simple efecto es, pues:

$$Q = \left[\frac{0.987 \times P_{\text{aire}}(\text{bar})}{0.987} \right] \left(\frac{\pi \times D^2 \times l}{4000000} \right) \times n$$

Siendo:

Q = Consumo total de aire en $[\text{dm}^3/\text{min}]$

D = Diámetro $[\text{mm}]$

l = Carrera del cilindro $[\text{mm}]$ (VDocuments, 2017)

n = Ciclos por minuto

2.10.2 Pérdida de presión.

La pérdida de presión es sinónimo de pérdida de potencia. En condiciones normales de funcionamiento, la mayor parte de las herramientas y equipos neumáticos están contruidos para obtener su máximo rendimiento a una presión de trabajo en donde el aire comprimido se expande devolviendo parte de la energía almacenada. El aire comprimido no es otra cosa que una fuente de energía utilizable mediante su expansión debiendo conseguir su conservación hasta llegar a los elementos que se van a usar. No se debe olvidar que la presión de aire en el compresor nunca es igual a la presión de aire en los puntos de trabajo. (DocPlayer.es, 2019) Pero se pueden limitar estas pérdidas a unos valores relativamente pequeños y que sean admisibles en la práctica. Las pérdidas que se convierten en calor, producen una caída de presión que para una tubería recta se puede calcular con la siguiente fórmula (CASTAÑEDA, DISEÑO DE REDES DE AIRE COMPRIMIDO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES NEUMÁTICOS, 2016):

$$\Delta P \equiv 450 \times \frac{qc^{1,85} \times l}{d^5 \times p}$$

ΔP : caída de presión en bares

qc : caudal de aire FAD en l/s

d : diámetro de la tubería en mm

l : longitud de la tubería en m

p : presión absoluta inicial en bares o atmósferas

2.10.3 Depósito de aire

Cada instalación de aire comprimido incluye uno o más depósitos de aire. Su tamaño está en función de la capacidad del compresor, del sistema de regulación y del patrón de consumo de aire. Dentro de las funciones del depósito de aire además de almacenar el aire comprimido están: equilibrar las pulsaciones del compresor, enfriar el aire y recoger parte de la condensación. La siguiente fórmula sirve para dimensionar el volumen del depósito. La fórmula solo se aplica para compresores de tipo todo o nada. (DocPlayer.es, 2019)

$$V = \frac{0,25 \cdot Q_c \cdot P_1 \cdot T_0}{f_{\max}(P_U - P_L) \cdot T_1}$$

V: volumen del depósito de aire en Litros (l)

Qc: capacidad del compresor en l/s

P1: presión de entrada del compresor en bares o atmósferas

T1: temperatura máxima de entrada del compresor en (K)

T0: temperatura del aire comprimido en el depósito en (K)

P_U – P_L: diferencia de presión ajustada entre carga y descarga

f_{max}: frecuencia máxima de carga, normalmente 1 ciclo cada 30 segundos

2.10.4 Configuraciones de redes neumáticas.

Las diferentes redes neumáticas pueden ser abiertas o cerradas dependiendo de su aplicación industrial.

2.10.4.1 Red Abierta

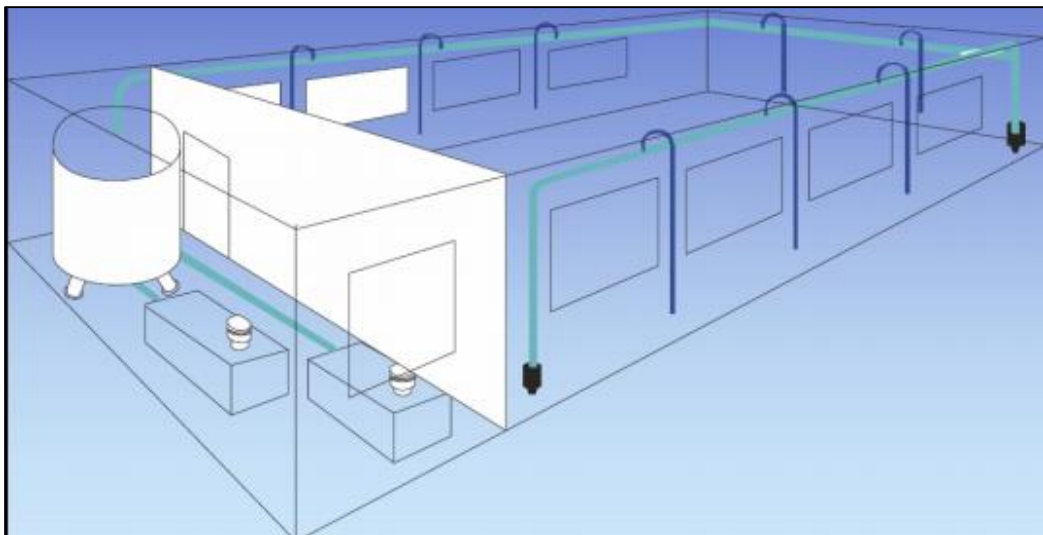


Figura 32. Red abierta
Fuente: (CASTAÑEDA, 2001)

2.10.4.2 Red Cerrada

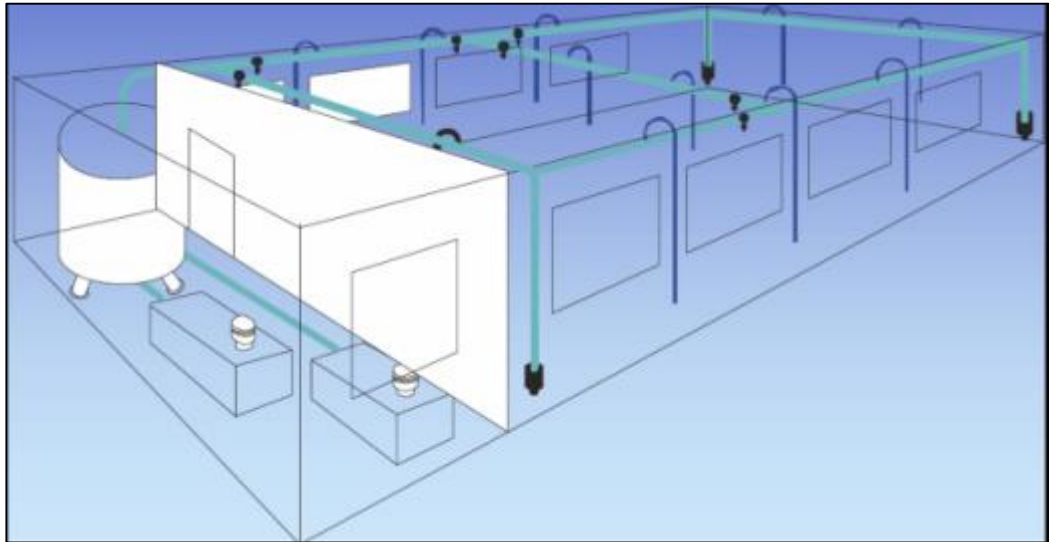


Figura 33. Red cerrada

Fuente: (CASTAÑEDA, 2001)

CAPITULO III

ANÁLISIS DE LA RED PARA EL CÁLCULO DE POTENCIA

3.1 Empresa alimenticia “Doña Juanita”

La Industrias Alimenticias Doña Juanita S.A., creada en el año 2003, en la ciudad de Quito, migrando en el 2004 a Guayaquil, donde se ubica actualmente, registrada y constituida por el Sr. Herrera Herrera con un patrimonio familiar, por tanto es una empresa familiar. La empresa fue fundada en 11 de mayo de 2004. Actualmente emplea a 6 personas. En sus últimos aspectos financieros destacados, Industrias Alimenticias Doña Juanita S.A. reportó aumento de ingresos netos de 4,53% en 2017.

Se inició con la venta de productos alimenticios de consumo masivo (salsa de tomate, mayonesa y vinagre). Se dedica a vender al por menor, una gran variedad de productos entre los que predominan, los productos alimenticios, las bebidas o el tabaco, como productos de primera necesidad y varios otros tipos de productos, como prendas de vestir, muebles, aparatos, artículos de ferretería, cosméticos (tienda de víveres) etcétera. Mantiene ventas promedios anuales de \$ 585,091.97 según los registros de la Superintendencia de Compañías.

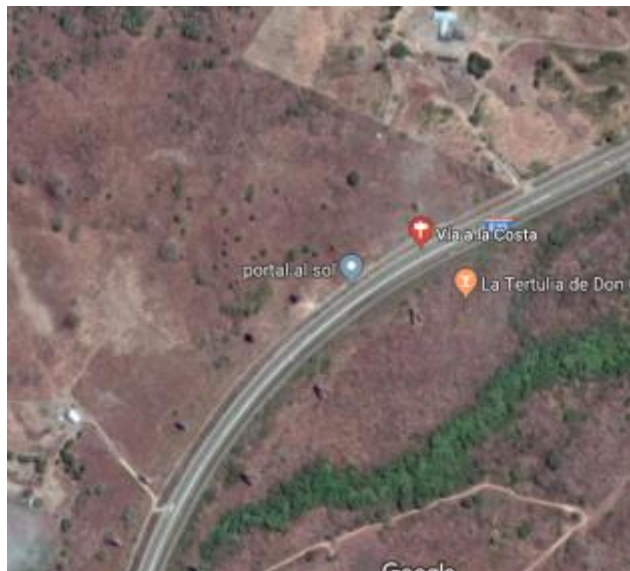


Figura 34. Ubicación de la empresa
Fuente: Google Maps.

La empresa está ubicada en la dirección: VIA A LA COSTA S/N y KM. 20.
Sector / Barrio: CHONGÓN LOT. ALGARROBOS. Ciudad: Guayaquil, Ecuador.

Su estructura organizacional es tradicional, manteniendo el aspecto administrativo custodiado por los propietarios.

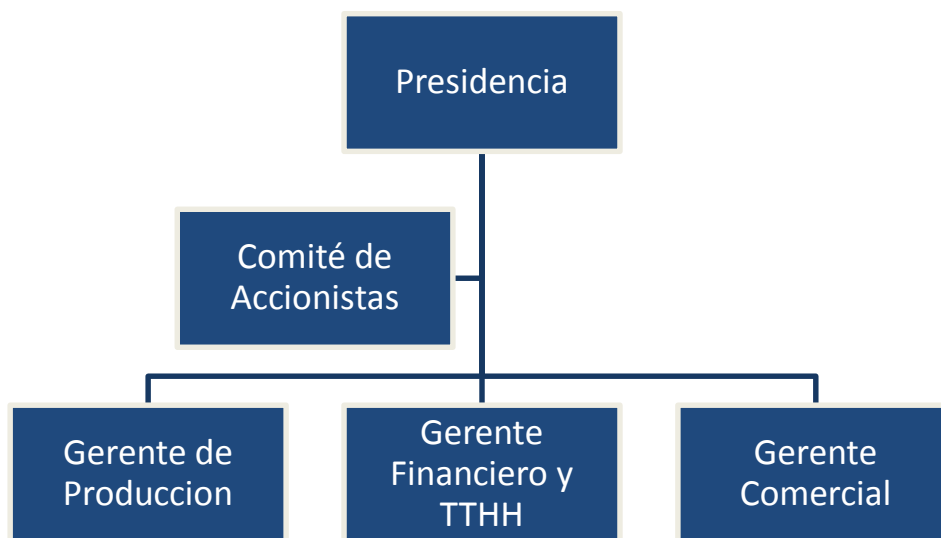


Figura 35. Organigrama de la empresa
Fuente: Investigación de campo

3.1.1 Situación actual

La empresa “Industrias de Alimentos Doña Juanita S.A.” cuenta con una planta de producción alimenticia de productos como son mayonesa, salsa de tomate, vinagre, salsa china, servilletas, embotellado de agua, que las distribuye al mercado local. Tiene 8 líneas de procesos divididas en:

Tabla 5. Líneas de procesos Industrias de Alimentos Doña Juanita S.A

Línea	Cantidad
Servilletadora (1nueva)	2
Embotelladora de agua	1
Taponadora de tachos de salsa de tomate	1
Selladora de agua	1
Sacheteadora (1 nueva)	2
Lavadora de botellones	1

Fuente: Investigación de campo

La demanda del mercado le ha obligado a incorporar nuevas líneas de procesos, como se puede observar en la tabla 5, se han incorporado una servilletadora y una sacheteadora al actual sistema de red neumática que posee, ya que las que tenían no alcanza a cubrir la demanda operativa y sus maquinarias resultaban afectada, presentándose alarmas de baja presión en todas las líneas de producción, obteniéndose

una mala calidad del producto terminado especialmente en selladoras y sacheteadoras. Por lo que, se realizó un análisis de la red de distribución neumática en los factores principales de desempeño, para luego analizar equipos que cubran la demanda de producción y recomendar la implementación de un equipo que satisfaga las necesidades que tiene la empresa.

Inicialmente, se utilizó la información técnica que reposa en el informe de la empresa “INDUSTRIAS ALIMENTICIAS DOÑA JUANITA S.A.” e investigaciones en documentos relacionado proporcionados por el equipo técnico de la misma, en la que se pudo observar información relacionada en las líneas operativas. Este análisis reflejó que cuando se trabaja a plena carga, se presentan alarmas de baja presión debido a la incorporación de dos nuevas líneas de proceso (Servilletadora y sacheteadoras), deduciendo que no se logra cubrir la demanda requerida con el actual compresor (de pistones) que se encuentra instalado y que ofrece el servicio de generar aire comprimido a la red neumática de toda la planta.

La siguiente tabla muestra las características del compresor que actualmente está instalado en la empresa.

Tabla 6. Detalles del compresor en estudio

Especificación	Detalle
Marca	Speedaire
Modelo	4B250A
Volt.	208-230/460
AMPS	41.0-40.6/20.3
PSI MAX	175
N. NUM EFFICIENCY	91.0
QUARANTEED EFFICIENCY	89.5

Fuente: Compresor - Empresa de Alimentos Doña Juanita, 2019

En la inspección del lugar, se encontró que este compresor Speedaire 4B250A trabaja con 8 líneas de procesos divididas en: Servilletadora (1), Taponadora de tachos

de salsa de tomate (1), embotelladora de agua (1), selladora de agua (1), sacheteadora (1), sacheteadora (NUEVA), lavadora de botellones (1) y servilletadora (NUEVA) con ciclos de carga y descarga de operación mínima de 6 bar y con presión máxima de operación de 9 bar, siendo su presión promedio de operación de 7.50 bares.

El análisis inició con el consumo de aire comprimido de las primeras líneas operativas, las mismas que están identificadas del 1 al 6, esta información fue tomada del informe técnico de la industria de alimentos Doña Juanita lo cual fue verificado en sitio los valores que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7. Consumo de aire comprimido en las primeras 6 líneas

Áreas de la planta	Líneas de proceso		Presión de operación		Ciclos x min.	Consumo de aire con presión			
			Min (bar)	Max (Bar)		Min (dm ³ /min)	Max (dm ³ /min)	Min (cfm)	Max (cfm)
6	Embotelladora de agua	de	6	9	25	418,16	478,01	14,8	16,88
5	Selladora de agua		6	9	30	1012,17	1013,91	35,7	35,8
4	Taponadora de tachos salsa tomate	de	6	9	25	560,91	610,48	19,8	21,55
3	Sacheteadora 1		6	9	25	907,38	1037,24	32	36,63
2	Lavadora de botellones	de	6	9	30	362,97	987,41	12,8	34,63
1	Servilletadora 1		6	9	30	66,2	75,68	2,34	2,67
						3327,79	4202,73	118	148,2

Fuente: Informe técnico - Industria de Alimentos Doña Juanita, 2019

En la tabla 7 se puede observar que el total de consumo de aire comprimido para las 6 líneas de producción (desde la 1 a la 6) alcanzan los 3327,79 en presión mínima (dm³/min) o 118 (cfm) y de 4202,73 en presión máxima (dm³/min) o 148,2 (cfm).

Como se había mencionado anteriormente, la empresa incorporó dos líneas de producción nuevas, para las que también se realizó un análisis al respecto de la demanda de consumo de aire comprimido. Ya identificadas las nuevas líneas de producción, se procedió a la toma de datos de elementos o maquinas que son:

- Cilindros neumáticos
- Actuadores neumáticos para válvulas mariposas
- Cortadoras
- Empaquetado
- Bombas neumáticas

Para efecto de cálculo se consideró los siguientes datos:

- Factor de simultaneidad: 80%
- Perdida en la línea: 18%
- Para la servilletadora #2 se consideró 35 ciclos por minuto
- Para la sacheteadora #2 se consideró 30 ciclos por minuto

Por tanto, los resultados que se lleguen a obtener deben conjeturarse en base a los datos proporcionados anteriormente.

Consumo de aire en un cilindro

El consumo de aire de un cilindro es una función de la relación de compresión, del área del pistón y de la carrera, según la fórmula (VDocuments, 2017):

$$\text{Consumo de aire} = \text{Relación de compresión} \times \text{Área del pistón} \times \text{carrera} \times \text{Ciclos/minuto}$$

La relación de compresión referida al nivel del mar está dada por:

$$\frac{0.987 + P_{\text{aire}}(\text{bar})}{0.987}$$

El volumen de aire requerido para una carrera del pistón expresado en dm^3 es:

$$\text{Volumen}(\text{dm}^3) = \frac{\pi}{4} \times \frac{D^2(\text{mm}^2)}{1000} \times \frac{l(\text{mm})}{100} = \frac{\pi \times D^2 \times l}{4000000}$$

Y para un cilindro de diámetro 63 mm, con vástago de carrera 160 mm, presión de aire 6 bar (VDocuments, 2017), es:

$$V(\text{dm}^3) = \frac{\pi \times 63^2 \times 160}{4000000} = 0.498759 \text{ dm}^3$$

El consumo de aire en condiciones normales de presión y temperatura en un cilindro de simple efecto es, pues:

$$Q = \left[\frac{0.987 + P_{\text{aire}}(\text{bar})}{0.987} \right] \left(\frac{\pi \times D^2 \times l}{4000000} \right) \times n$$

Siendo:

$$Q = \text{Consumo total de aire en } [\text{dm}^3/\text{min}]$$

$D = \text{Diámetro [mm]}$

$l = \text{Carrera del cilindro [mm]} \text{ (VDocuments, 2017)}$

$n = \text{Ciclos por minuto}$

Y en un ejemplo, para $n = 4$ ciclos/min, resulta:

$$Q(\text{dm}^3/\text{min}) = \left[\frac{0.987+6}{0.987} \right] \left(\frac{\pi \times 63 \times 160}{4000000} \right) \times 4 = 14.1229 \text{ dm}^3/\text{min}$$

Para el caso de cilindros de doble efecto y despreciando el volumen del vástago se tiene:

$$Q = 2 \times \left[\frac{0.987 \times P_{\text{aire}}(\text{bar})}{0.987} \right] \left(\frac{\pi \times D^2 \times l}{4000000} \right) \times n$$

Y en el ejemplo sería de $2 \times 14.1229 \text{ dm}^3/\text{min} = 28.2458 \text{ dm}^3/\text{min}$

De esta manera se procede a calcular el consumo de aire comprimido de los componentes de cada una de las nuevas líneas. Entre ellas se encuentra la servilletadora 2, la misma que cumple la función de producir servilletas y cortarlas del tamaño adecuado. La demanda total de aire comprimido en la servilletadora es de 1102,35 dm^3/min con presión mínima de operación y con 1117 dm^3/min con presión máxima de operación tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8. Consumo de aire componentes de Servilletadora 2

Servilletadora 2	Unidades	Presión de operación		Ciclos x min.	Consumo de aire con presión			
		Min(bar)	Max (Bar)		Min (dm ³ /min)	Máx (dm ³ /min)	Min (cfm)	Máx (cfm)
Cilindros neumáticos	20	6	9	35	440,95	446,8	15,572	15,78
Válvulas mariposa	5	6	9	35	220,47	223,4	7,786	7,89
Cortadora	1	6	9	35	165,35	167,55	5,8395	5,91
Empaquetado	1	6	9	35	275,58	279,25	9,7325	9,86
Total					1102,35	1117	38,93	39,45

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Autor, 2019

Otra de las nuevas líneas que se incorporaron fue la de sacheteadora 2, la misma que tuvo un consumo total de aire comprimido de $1116,98 \text{ dm}^3/\text{min}$ presión mínima de operación, y $1133,72 \text{ dm}^3/\text{min}$ presión máxima de operación en conjunto con sus componentes, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9. Consumo de aire componentes de sacheteadora 2

Sacheteadora 2 (Nueva)	Unidades	Presión de operación		Ciclos x min.	Consumo de aire con presión			
		Min(bar)	Max (Bar)		Min (dm ³ /min)	Máx (dm ³ /min)	Min (cfm)	Máx (cfm)
Cortadora	1	6	9	30	111,69	113,37	3,94	4
Cilindros neumáticos	18	6	9	30	335,13	340,13	11,84	12,01
Bomba neumática	1	6	9	25	223,39	226,74	7,88	8,01
Sello horizontal	1	6	9	30	111,69	113,37	3,94	4
Sello vertical	1	6	9	30	111,69	113,37	3,94	4
Cilindros de banda de arrastre	2	6	9	30	223,39	226,74	7,88	8,01
Total					1116,98	1133,72	39,44	40,04

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Autor, 2019

Con estos datos se procedió a realizar una sumatoria de las dos nuevas líneas, tanto de la servilletadora como la sacheteadora como se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 10. Consumo de aire comprimido de las 2 nuevas líneas

Áreas de la planta	Líneas de proceso	Presión de operación		Ciclos x min.	Consumo de aire con presión				
		Min (bar)	Max (Bar)		Min (dm ³ /min)	Máx (dm ³ /min)	Min (cfm)	Máx (cfm)	
8	Servilletadora (Nueva)	2	6	9	35	1102,35	1117	38,93	39,45
7	Sacheteadora (Nueva)	2	6	9	30	1116,98	1133,72	39,44	40,04
					2219,33	2250,72	78,37	79,49	

Fuente: Investigación de campo, 2019

La incorporación de estas nuevas líneas de producción ha desencadenado una problemática que gira entorno al compresor que tiene actualmente la empresa. El problema principal radica en que este, al llegar a su máxima potencia, que es donde todas las líneas de producción están funcionando al 100%, mantiene una baja de presión que no logra superar los 4 bar, tal como se muestra la figura 37. Esto afecta

consecuentemente la calidad del producto terminado, principalmente en el sellado que proporcionan las líneas selladoras de servilletteros, llenadoras de agua, lavadoras de botellones y sacheteadora, provocando un gasto adicional por tener que realizar otros procesos para mejorar el producto, generando un doble esfuerzo operativo y pérdidas económicas significativas para la empresa.



*Figura 36. Medición de Bar. Capacidad al 100%
Fuente: Investigación de campo, 2019.*

Los cálculos realizados a la demanda real del consumo de aire en la red neumática, considera los niveles de presión que se debe mantener, se obtuvo resultados por líneas de proceso y el consumo total de aire en la planta se estimó en 5664.26 dm³/min equivalente a 200.02 cfm., estos valores son el resultado de la sumatoria de consumo de aire total de las líneas que se manejan actualmente incluyendo las servilletadora 1 y 2 , taponadora de tacho salsa de tomate, embotelladora de agua, selladora de agua, sacheteadoras 1 y 2, lavadora de botellones.

Debido a que no todas las líneas de producción van a trabajar de manera simultánea se ha aplicado un factor de simultaneidad del 80% y una pérdida del 18% considerada para el cálculo, promediando la presión máxima y mínima de operación que debe mantener sobre los 6 bar incluyendo las nuevas líneas incorporadas.

Como se muestra en la tabla siguiente sobre demanda total requerida de las líneas de producción, el consumo total de aire que requiere la planta para cubrir su actual demanda que es de presión mínima 5547,12 (dm³/min) y en presión máxima es de 6453,45 (dm³/min). Por tanto, se evidencia que las dos nuevas líneas demandan mayor consumo de aire comprimido que no logra ser cubierto por el actual compresor de pistones, decrementando la producción e incumplir con la entrega de la producción en tiempos planificados.

Tabla 11. Demanda actual vs. demanda necesaria

Demanda	Consumo de aire con presión			
	Mín (dm ³ /min)	Máx (dm ³ /min)	Mín (cfm)	Máx (cfm)
Lineas 1 a 6	3327,79	4202,73	117,51	148,42
Lineas 7 y 8	2219,33	2250,72	78,37	79,49
Total demanda	5547,12	6453,45	195,88	227,91

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Autor, 2019

Este análisis, permitió calcular la demanda total para determinar la potencia del compresor que servirá para cubrir la demanda de las 8 líneas de producción como se muestra en la tabla 12, la misma que es base para encontrar una opción viable técnica y operativa en equipos que resuelvan la problemática de la empresa Industrias alimenticias Doña Juanita.

Tabla 12. Resultados de evaluación de la demanda actual por líneas de proceso.

LÍNEAS DE PROCESOS INDUSTRIALES DE INDUSTRIA ALIMENTICIA DOÑA JUANITA									
AREAS DE PLANTA	LÍNEAS DE PROCESOS		PRESIÓN MIN DE OPERACIÓN (bar)	PRESIÓN MAX DE OPERACIÓN (bar)	CICLOS POR MINUTO	Consumo de aire con presión Min (dm ³ /min)	Consumo de aire con presión Máx (dm ³ /min)	Consumo de aire con presión Min (cfm)	Consumo de aire con presión Máx (cfm)
8	Servilletadora (Nueva)	2	6	9	35	1102,35	1117	38,93	39,45
7	Sacheteadora 2 (Nueva)		6	9	30	1116,98	1133,72	39,44	40,04
6	Embotelladora de agua		6	9	25	418,16	478,01	14,77	16,88
5	Selladora de agua		6	9	30	1012,17	1013,91	35,74	35,8
4	Taponadora de tachos salsa tomate		6	9	25	560,91	610,48	19,8	21,55
3	Sacheteadora 1		6	9	25	907,38	1037,24	32,04	36,63
2	Lavadora de botellones		6	9	30	362,97	987,41	12,81	34,63
1	Servilletadora 1		6	9	30	66,2	75,68	2,34	2,67
						CONSUMO TOTAL DE AIRE EN LA PLANTA (dm³/min)		CONSUMO TOTAL DE AIRE EN LA PLANTA (cfm)	
						5547,12	6453,45	195,88	227,91
Factor de simultaneidad 80%						4437,69	5162,76	156,704	182,32
Perdidas 18%						798,78	929,3	28,20	32,81
Generación de aire requerido						5236,47	6092,06	184,91	215,13
Consumo total						5664,26		200,02	

Fuente: Investigación de campo, 2019.

3.1.2 Solución propuesta

La propuesta para solucionar la caída de presión dentro de las líneas de producción de la empresa alimenticia Doña Juanita, es calcular el consumo total del compresor mediante el volumen de carga, para determinar la potencia de un compresor que logre cubrir con su demanda total y remplazarlo por un compresor que trabaje con la tecnología de motor de reluctancia variable de máxima eficiencia, que a su vez esta combinado con un variador de frecuencia de alto desempeño que hace mantener un control de presión constante, con lo que reducimos la presión máxima evitando picos de corrientes, de esta manera ahorramos energía permitiendo satisfacer la demanda de las líneas de producción, manteniendo los niveles de presión en condiciones óptimas.

- **Selección del compresor**

Con el resultado del cálculo total de la carga neumática en pies cubico por minuto de 200.02 cfm, verificamos en el catálogo del proveedor (ver anexo # 2) donde nos indica las características técnicas del compresor a seleccionar estas son: modelo, presión de operación, flujo del equipo a presión de operación en cfm, máxima presión de operación, potencia nominal del motor, dimensiones del equipo, conexión de aire comprimido, niveles de ruido y peso del equipo.

En este caso nuestro compresor a utilizar en este análisis seria marca Kaeser versión SFC con variador de velocidad modelo SFC30 con una presión de operación de trabajo de 110 psi / 7.50 bar y un motor de 30 Kw como lo describe la siguiente tabla.

Tabla 13. Versión SFC con variador de velocidad

Modelo	Presión de operación psig	Flujo ¹ del equipo completo a presión de operación cfm	Máxima presión de operación psig	Potencia nominal motor kW	Dimensiones L x A x H pulgadas	Conexión de aire comprimido	Nivel de ruido ²⁾ dB(A)	Peso lbs
SFC 22	110	37 - 163	125	22	60 ¼ x 35 ½ 60 ¼	1¼ NPT	69	1,665
	125	37 - 154	125					
SFC 30S	110	38 - 185	125	30	60 ¼ x 35 ½ 60 ¼	1¼ NPT	69	1,669
	125	37 - 174	125					
SFC 30	110	46 - 217	145	30	60 ¼ x 35 ½ 60 ¼	1¼ NPT	70	1,753
	125	48 - 206	145					

Fuente: Kaeser Compresores (2019)

Con el análisis antes realizado se ha considerado que lo ideal para abastecer la demanda de las líneas de procesos de la empresa de Alimentos Doña Juanita, es un compresor tipo tornillo, marca Kaeser versión SFC modelo SFC 30, presión desde 80 hasta 145 psig, es decir el que consta en la tercera línea de la tabla 13.

En cuanto a los mantenimientos del equipo, considerar lo siguiente:

- a) Los trabajos de reparación, que excedan lo exigido por los trabajos de mantenimiento corrientes, solamente deberán ser llevados a cabo por un técnico capacitado o por nuestro servicio de asistencia técnica. Emplear únicamente las piezas de repuesto autorizadas por el fabricante, así como los accesorios determinados para ello. Antes de proceder a cualquier tipo de trabajos de mantenimiento y de reparación es imprescindible desconectar el compresor y separarlo de la red (desenchufar el enchufe de la red). (DocPlayer.es, 2019)
- b) Para el ajuste de la presión de flujo, se tiene que poner en funcionamiento el o los consumidores. Levantar el botón giratorio del reductor de presión y girarlo en el sentido de la flecha “+” (para aumentar la presión de flujo) o en el sentido de la flecha “-“ (para bajar la presión) hasta que en el manómetro se indique la presión de flujo necesaria. (DocPlayer.es, 2019)
- c) No manipular la válvula de seguridad. (DocPlayer.es, 2019)
- d) No limpiar nunca el filtro. Los filtros se destruyen si se limpian.
- e) Al realizar un cambio de filtro se deberán realizar las anotaciones correspondientes en las etiquetas autoadhesivas adjuntadas, para así documentar el último cambio de filtro, debiéndose adherir en un lugar bien visible en el compresor. Véase también la información adjuntada en el envase de los filtros nuevos. (DocPlayer.es, 2019)

3.2 Análisis de costo beneficio

El análisis de costo beneficio, al respecto de las líneas de producción de la empresa “Industria alimenticia Doña Juanita” se han determinado en base a los registros de eficiencia energética del compresor de pistones, calculados en los 3 años anteriores que tiene en funcionamiento. Este consumo de energía se estima en un consumo total en alrededor de 78.537 kwh equivalente a \$ 11.929, mientras que con el compresor propuesto se ha proyectado un consumo energético de 54.975 kwh que equivalen a \$8.350,94 por los tres años.

Por tanto, se considera como resultado una diferencia de consumo de energía estimada en 23.562 kwh que equivalen a \$3.579 que es el ahorro total de los tres años calculados y en base a esta estimación, se ha realizado un cálculo promedio del ahorro anual que se tendría con el compresor propuesto que se ha proyectado en \$ 1.193

(promedio anual) y que representa un ahorro energético del 30% entre ambos compresores, tal como se muestra en el detalle siguiente:

Tabla 14. Tabla de consumo - Doña Juanita

Año	Compresor de Pistones		Compresor de tornillo		Diferencia Ahorro 30%	
	Kwh	\$	kwh	\$	kwh	\$
2016	23614	\$ 3.587,02	16530	\$ 2.510,91	7084	\$ 1.076,11
2017	28878	\$ 4.386,64	20214	\$ 3.070,64	8664	\$ 1.316,00
2018	26045	\$ 3.956,28	18231	\$ 2.769,39	7814	\$ 1.186,89
Total	78537	\$ 11.929,94	54975	\$ 8.350,94	23562	\$ 3.579,00
Promedio	26179	\$ 3.976,65	18325	\$ 2.783,65	7854	\$ 1.193,00
				Prom. Ahorro		\$ 1.193,00
				Años Vida útil		10
				Consumo Ahorro 10 años		\$ 11.930,00

Fuente: Empresa alimenticia "Doña Juanita"
Elaborado por: Autor, 2019.

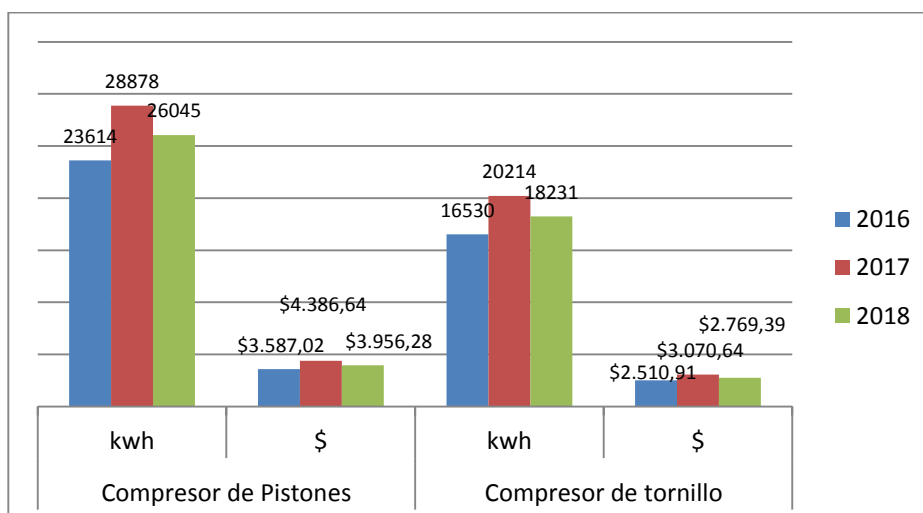


Figura 37. Historial de consumo eléctrico - Doña Juanita
Fuente: Empresa alimenticia "Doña Juanita"
Elaborado por: Autor, 2019.

El compresor de pistones que actualmente maneja la empresa registra un consumo promedio anual de \$ 3.976,65, al que se debe sumar el gasto por mantenimiento preventivo y correctivo que se sujeta anualmente el compresor, según su cronograma de planificación. En la siguiente tabla se muestra una comparación de valores entre el compresor de pistones y el nuevo compresor, en sus gastos por mantenimiento promedio de consumo anual considerando una vida útil de la máquina de 10 años.

Tabla 15. Comparación Gastos Mantenimiento

	Compresor de Pistones	Compresor de tornillo
Mantenimiento Anual	\$ 1.000,00	\$ 120,00
Vida Útil	10	10
Gasto Mant.	\$ 10.000,00	\$ 1.200,00
Prom cons anual * 10	\$ 39.766,50	\$ 27.836,50
Total 10 Años	\$ 49.766,50	\$ 29.036,50
Inversión en compra		\$ 10.000,00
Total		\$ 39.036,50
Ahorro estimado		\$ 10.730,00
%		21,56%

Fuente: Empresa alimenticia "Doña Juanita"

Elaborado por: Autor, 2019.

Como se pudo observar en la tabla 15, el gasto por mantenimiento del compresor de pistones tiene un valor promedio de \$ 1.000,00 anuales, mientras que el compresor de tornillo tiene un valor promedio de \$ 120,00 lo que provoca un ahorro en el presupuesto anual de mantenimiento de los equipos con un total de \$10.000 y de \$1.200 proyectado a 10 años de vida útil. Los valores anteriores son parte del gasto total que se genera para cada compresor, y en consideración que el compresor de pistones tiene un promedio de consumo de energía que representa un \$ 39.766,50 y que para el compresor de tornillo se genera un promedio de consumo estimado de energía de \$ 27.836,50 calculados para los 10 años de vida útil del compresor, proyectan un gasto total de \$ 49.766,50 para el compresor de pistones y \$ 29.036,50 de gasto para el compresor de tornillo, y comparando ambos equipos se tiene un ahorro estimado de 21,56% al momento de la implementación del compresor propuesto y adicionalmente, el incremento de la satisfacción de los niveles de las líneas de producción de la empresa alimenticia Doña Juanita, concluyendo que la elección del nuevo compresor está sustentado en el ahorro significativo que se tendrá tanto en lo económico como en la optimización del esfuerzo operativo al respecto del desempeño y acabado de la producción.

CAPITULO IV

ANALISIS RESULTADOS

Para saber si la red satisface el aprovechamiento de todos los equipos con que cuenta la planta de industrias alimenticia Doña Juanita, se debe comprobar los cambios de presión en los distintos puntos de consumo para conocer que la red no tiene bajas de presión o pérdida de potencia que puedan dificultar el trabajo de la maquinaria, esto se lo debe realizar a plena carga. Para el caso se tomó el consumo de aire en diferentes máquinas considerando el ciclo de trabajo de los compresores proporcionado por el fabricante (KAESER “Anexo 2”).

Los valores en la tabla 8 corresponden a los datos tomados del informe técnico proporcionado por la planta Doña Juanita y el levantamiento de información que se realizó de la demanda actual. Con esta información y los cálculos realizados, de implementarse este trabajo de tesis y realizar el cambio de compresor con las características recomendadas se eliminarían las alarmas de baja presión que comprometan la red permitiendo que no haya caídas de presión más la que exista entre la línea principal de la red y la salida del compresor.

De darse esta implantación se debería tener una presión constante en cada uno de los puntos. Gracias a las unidades de mantenimiento los puntos de consumo se regulan a la presión de trabajo que en nuestro caso sería 7.5 bares, por tanto, el compresor estaría regulado para trabajar a una presión máxima de 9 bares y una mínima de 6 bares, logrando así que la presión no disminuya. En caso de bajar la presión lo que ocurriría es que el compresor aumentaría sus revoluciones para compensar la caída de presión estabilizando el sistema a una presión de operación de 7.5 bares.

4.1 Conclusiones

- Aplicando esta tecnología de motor de reluctancia variable controlado por un variador de frecuencia se estima un ahorro energético del 30%.
- Para comprimir aire se requiere de energía, las fugas son pérdidas de energía que a la larga se involucra con un alto costo de dinero, por lo tanto, el ahorro empieza desde el momento en que se ataca las fugas.

- El ahorro económico calculado en 10 años de vida útil del equipo sería de un 21,56% incluyendo los costos por mantenimiento.

4.2 Recomendaciones

- El compresor a instalar debe ser con esta nueva tecnología que ayude a mantener una presión estable y eficiente en la red neumática.
- Considerar que, ante una eventual salida de operación del compresor, el proceso productivo puede verse comprometido, por lo que pensar en compresores de respaldo sería lo óptimo y se sugiere mantener el compresor de pistones dentro de la planta.
- La ubicación del compresor debe ser en un lugar fresco, alejado del área de trabajo y del personal humano, cumpliendo las medidas de protección laboral y seguridad industrial en todo momento.
- Al momento de instalar el compresor, tomar en consideración las siguientes recomendaciones:
 - *Instalación y puesta en servicio*
 - El aparato solamente debe ser instalado y operado en estancias secas, bien ventiladas y exentas de polvo. (DocPlayer.es, 2019)
 - El compresor se tiene que instalar, de manera que en todo momento sea accesible con facilidad para el servicio, mantenimiento y lectura de la placa de características. (DocPlayer.es, 2019)
 - El aparato se tiene que ubicar sobre una base plana y suficientemente robusta. (DocPlayer.es, 2019)
 - La temperatura ambiente no debe bajar por debajo de +10 °C, ya que de lo contrario se puede formar en el aparato agua de condensación poco deseada y no se podrá garantizar un trabajo perfecto del compresor. El aparato no debe ser operado sin una ventilación adicional en el caso de una temperatura ambiente por encima de +40 °C (peligro de sobrecalentamiento). Para la ventilación se tienen que instalar entonces un ventilador. Las temperaturas ambientales ideales se encuentran dentro de un margen de +10 °C hasta +25 °C. (DocPlayer.es, 2019)
 - El compresor está equipado de serie con una unidad de instrumentos, que consta de: Un interruptor de presión, una válvula de seguridad, un

acoplamiento de conexión de aire comprimido y un manómetro. (DocPlayer.es, 2019)

- Colocar un tubo flexible de presión (8x3x14) sobre la tubuladura de empalme del reductor de presión y fijarlo con la abrazadera para evitar su desprendimiento. (DocPlayer.es, 2019)
- La conexión a la red de alimentación de tensión sólo debe ser efectuada por un técnico capacitado. (excepto las estaciones listas para ser enchufadas para la conexión a una caja de enchufe con toma a tierra o a una toma de corriente CEE, en función de la ejecución del compresor) El compresor se suministra en la ejecución de 460 V, y en la ejecución de 230 V con un enchufe con contacto a tierra. Es imprescindible observar las instrucciones y reglamentaciones de la central eléctrica local. La tensión de red y la frecuencia tienen que coincidir con lo indicado en la placa de características. (DocPlayer.es, 2019)
- Verificar si se han retirado todos los seguros de transporte que se habían dispuesto en el compresor. (DocPlayer.es, 2019)
- Controlar la conexión correcta de las tuberías de aire comprimido. (DocPlayer.es, 2019)
- El compresor se tiene que haber conectado debidamente al sistema de alimentación de tensión. (DocPlayer.es, 2019)
- Verificar el montaje correcto del filtro de aire. (DocPlayer.es, 2019)
- Conectar el compresor a través del interruptor de presión. (DocPlayer.es, 2019)

BIBLIOGRAFÍA

- Alciro. (2007). *www.alciro.org*. Obtenido de http://www.alciro.org/alciro/Plotter-Router-Fresadora-CNC_1/Motores-reluctancia-variable_42.htm.
- Alvarado, A. (1989). *Tecnología neumática y sus aplicaciones*. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/131/1/1020074570.PDF>.
- Alvarado, A. (31 de MARZO de 1989). *UANL*. Obtenido de UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVA LEON: <http://eprints.uanl.mx/131/1/1020074570.PDF>
- ASERPRO. (2015). *TRATAMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO*. Obtenido de [http://oycsrl.wixsite.com/aserpro/tratamiento-de-aire?_escaped_fragment_](http://oycsrl.wixsite.com/aserpro/tratamiento-de-aire?_escaped_fragment_=).
- Axis. (2019). *Post-enfriador*. Obtenido de <http://smc.com.mx/post-enfriador-linea-neumatica/>.
- BT Ingenieros. (2017). *Filtro de aire, regulador y lubricador para compresor*. Obtenido de <http://www.bt-ingenieros.com/filtros-de-aire-reguladores-y-lubricadores/1466-filtro-de-aire-regulador-y-lubricador-para-compresor-12.html>.
- CASTAÑEDA, F. J. (2001). *media.utpl*. Obtenido de <http://media.utp.edu.co/tecnologia-mecanica/archivos/M%C3%93DULO%201.pdf>
- CASTAÑEDA, F. J. (2016). *DISEÑO DE REDES DE AIRE COMPRIMIDO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES NEUMÁTICOS*. Obtenido de

<http://media.utp.edu.co/tecnologia-mecanica/archivos/M%C3%93DULO%201.pdf>.

CECCATO. (2018). *El filtro*. Obtenido de <https://sgrepuestos.com.ar/wp-content/uploads/2018/02/filtros-de-linea.pdf>.

compresor, m. (5/02/2019). Diferentes tipos de compresores. *mundo compresor.com*.

Creus Solé (2017). *Neumatica e hidraulica Creus*. Obtenido de <https://vdocuments.site/neumatica-e-hidraulica-creus-57043f86ee3a5.html>.

Cyrsistemas. (2019). *Secadores*. Obtenido de <http://www.cyrsistemas.com/secadores.html>.

Durnn Dental. (2012). *INSTRUCCIONES PARA EL MONTAJE Y USO*. Obtenido de <https://docplayer.es/46075091-Instrucciones-para-el-montajey-uso-compresores-durr.html>.

Durr Dental. (2017). *INSTRUCCIONES PARA EL MONTAJE Y USO*. Obtenido de <https://erp.somuden.es/instrucciones/240-5.pdf>.

EACSA. (2017). *Energía en aire comprimido*. Obtenido de <http://energiaenaire.com.mx/tipos-secadores-aire-comprimido/>

EcuRed. (2013). *Compresores*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Compresores>.

El espectador. (2017). *Medio ambiente*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/search/noticias%20medio%20ambiente%20medir%20huella%20ambiental%20de%20unaempresa%20articulo%20611864>.

Energía en aire comprimido. (2017). *¿Qué es un secador de aire comprimido?* Obtenido de <http://energiaenaire.com.mx/tipos-secadores-aire-comprimido/>.

- Gaona, K. (2015). *Compresores neumaticos*. Obtenido de <http://karlagaona.blogspot.com/2015/05/blog-post.html>.
- GM Electrónica. (2019). *Filtros de Línea*. Obtenido de <https://gmelectronica.com.ar/filtros-de-linea/>.
- Hidroneumatica aplicada. (2014). *Compresores de embolo oscilante*. Obtenido de <https://hidroneumaticaaplicada.blogspot.com/2014/01/compresores-de-embolo-oscilante.html>.
- IberMq. (2019). *Componentes de una red neumática*. Obtenido de <http://www.ibermaq.es/producto/componentes-una-red-neumatica/>
- Indupym. (2019). *Postenfriador*. Obtenido de <http://www.indupym.com/postenfriadores.html>.
- Industrial automática. (2010). *Automatización Industrial*. Obtenido de <http://industrial-automatica.blogspot.com/2010/09/tratamiento-del-airecomprimido.html>.
- Intec. (2018). *APLICACIONES DE LA NEUMÁTICA EN LA INDUSTRIA*. Obtenido de <https://suministrointec.com/aplicaciones-neumatica-industria/>.
- Kaeser Compresores. (2019). *Tanques de almacenamiento de aire comprimido*. Obtenido de <http://www.kaeser.com.co/Images/P-775-CO-tcm33-7411.pdf>.
- Kaeser Compresores. (2019). *Compresores de tornillo*. Obtenido de <http://mx.kaeser.com/m/Images/P-651-2-MX-tcm325-6767.pdf>.

La llave. (2013). *INFORME DE LEVANTAMIENTO DE ACTUADORES NEUMATICOS DE UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS*. DURAN: INGRESOLL RAND.

Mapner. (2018). *Émbolos Rotativos*. Obtenido de <https://www.mapner.com/bombas/embolos-rotativos/>.

Martinez, C. (2013). *Compresores de membrana*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/danielmartinezortiz18/compresores-de-embolo-oscilante>.

Meclube. (2019). *Regulador de presión con filtro, lubricador y manómetro*. Obtenido de <http://www.meclube.com/es/181-regulador-de-presi%C3%B3n-con-filtro-lubricador-y-man%C3%B3metro.html>.

Media. (2016). *Modulo 1*. Obtenido de <http://media.utp.edu.co/tecnologia-mecanica/archivos/M%C3%93DULO%201.pdf>.

Minnisterio de educiación Ecuador (2017). Obtenido de http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1108/html/23_distribucin_de_aire_comprimido.html

Montalve, M. (2016). *EL ESPECTADOR*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/medir-huella-ambiental-de-una-empresa-articulo-611864>

Moto Compresores. (2016). *Post-enfriadores*. Obtenido de <http://mottocompresores.com.ar/?portfolio=post-enfriadores>.

Mundo Compresor. (2019). *La filtración en las líneas de aire comprimido*. Obtenido de <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/filtracion-lineas-aire-comprimido>.

Mundo Compresor. (2019). *La filtración en las líneas de aire comprimido*. Obtenido de <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/>.

Mundo motor. (2019). *Filtro De Aire, Tipos, Funcionamiento, Cómo y Cuándo Cambiarlo*. Obtenido de <https://www.mundodelmotor.net/filtro-de-aire/>.

Open Energy. (2019). *Sistema de Producción de Aire Comprimido*. Obtenido de http://opex-energy.com/en/ciclos/sistema_de_produccion_aire_comprimido.html.

Pillou, J. (2018). *CCM Benchmark*. Obtenido de <https://es.ccm.net/contents/71-introduccion-a-la-ofimatica>

QuimiNet. (2011). *Qué es un variador de frecuencia y cómo es que funciona?* Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-variador-de-frecuencia-y-como-es-que-funciona-60877.htm>.

Quiminet. (2016). *quiminet.com*. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-variador-de-frecuencia-y-como-es-que-funciona-60877.htm>

R&S Scope Rider. (2019). *RHODE%SCHWARZ*. Obtenido de https://www.rohde-schwarz.com/lat/aplicaciones/medici-n-de-la-calidad-de-la-energ-a-en-instalaciones-el-ctricas-ficha-de-aplicacion_56279-469952.html?rusprivacypolicy=1

- Rodriguez, M. (2019). *Análisis del Ciclo de Vida: ISO 14040*. Obtenido de <https://geoinnova.org/blog-territorio/analisis-del-ciclo-de-vida-iso-14040/>.
- Rohde & Schwarz. (2019). *Medición de la calidad de la energía en instalaciones eléctricas*. Obtenido de https://www.rohde-schwarz.com/lat/aplicaciones/medicion-de-la-calidad-de-la-energia-en-instalaciones-electricas-ficha-de-aplicacion_56279-469952.html?rusprivacypolicy=1.
- Sosa Maldonado (2017). *Instrucciones para el montaje y uso de compresores Durr*. Obtenido de <https://docplayer.es/46075091-Instrucciones-para-el-montaje-y-uso-compresores-durr.html>.
- Sáez Pobleta (2018). *Diseño de redes de aire comprimido y selección de componentes neumáticos*. Obtenido de <http://docplayer.es/47787412-Diseño-de-redes-de-aire-comprimido-y-selección-de-componentes-neumaticos.html>.
- SEEPSA. (2019). *Tanques para aire comprimido*. Obtenido de <http://www.seepsa.com.mx/tanques-para-aire.html>.
- SMC. (2017). *Industria alimentaria*. Obtenido de https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/resources/docs/industries/food/FOOD_cat_es.pdf.
- Suhissa. (2018). *Bombas neumáticas*. Obtenido de <https://suhissa.com.mx/las-bombas-neumaticas-y-su-presencia-en-la-industria-alimenticia/>.
- Tema fantastico, S.A. (01 de septiembre de 2010). *Automatización industrial*. Obtenido de <http://industrial-automatizada.blogspot.com/2010/09/tratamiento-del-aire-comprimido.html>

ANEXOS

Anexo 1. Norma ISO 8753-1


ISO 8573-1 : 2010 	CLASE	Partículas sólidas				Agua		Aceite
		Máximo número de partículas por m ³			Concentración mg/m ³	Punto de rocío a presión	Condensado líquido g/m ³	Concentración total (líquido, aerosol y vapor)
		0,1 - 0,5 micras	0,5 - 1 micras	1 - 5 micras				mg/m ³
0	Sujeto al acuerdo específico entre usuario y proveedor pero en valores más estrictos que la Clase 1							
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01	
2	≤ 400.000	≤ 6000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1	
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	-	≤ -20 °C	-	1	
4	-	-	≤ 10.000	-	≤ +3 °C	-	5	
5	-	-	≤ 100.000	-	≤ +7 °C	-	-	
6	-	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	
7	-	-	-	5 - 10	-	≤ 0,5	-	
8	-	-	-	-	-	0,5 - 5	-	
9	-	-	-	-	-	5 - 10	-	
X	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10	

Figura 38. Norma ISO 8573-1

Fuente: (Mundo Compresor, 2019)

Anexo 2. Manual de compresores, Kaeser Compresores.



La nueva norma EN 50598

La norma europea de ecodiseño EN 50598 describe los requisitos para los accionamientos eléctricos de los equipos. Entre otras cosas, define el grado de desempeño de un sistema que toma en cuenta las pérdidas de un motor y un convertidor de frecuencia. Los equipos KAESER presentan un 20 % menos de pérdidas que el valor de referencia, de modo que cumplen sobradamente.



Máximo rendimiento energético

Para las unidades ASD con convertidor de frecuencia, KAESER cumple el grado de desempeño de sistemas IES2, lo cual supone el grado máximo posible de eficiencia de acuerdo a la norma EN 50598. Esto significa que su sistema de accionamiento presenta un 20 % menos de pérdidas que el valor de referencia.

Serie ASD (T) SFC

Compresor con control de velocidad variable con motor síncrono de reluctancia



Control de presión constante

Se puede ajustar el flujo a la demanda real de aire comprimido dentro del rango de control y dependiendo de la presión. La presión de servicio queda constante siempre en un margen de ± 1.5 psi. De esa forma, es posible reducir la presión máxima, ahorrando energía y dinero.



Resistentes y sencillos de mantener

Resistentes y sencillos de mantener: El rotor del motor síncrono de reluctancia no lleva aluminio, cobre ni imanes de tierras raras. Por tanto, el cambio de los rodamientos y los rotores es igual de sencillo que en un motor asíncrono. Además, el principio de operación del motor evita que se produzcan pérdidas de calor en el rotor, con lo que se reduce notablemente la temperatura de los rodamientos, esto permite alargar su tiempo de servicio y la del motor.



Gabinete de control SFC independiente

Un gabinete de control independiente protege al convertidor SFC del calor emitido por el compresor. Su ventilador propio procura un ambiente ideal para obtener el máximo desempeño y un largo tiempo de servicio.



Equipo certificado EMC

La tolerancia electromagnética en redes industriales de la clase A1 del gabinete de control del SFC y el SIGMA CONTROL 2 como unidades individuales y como equipo combinado está controlada y certificada de acuerdo a la norma EN 60111.

Serie ASD (T) SFC

Eficiencia máxima gracias al motor síncrono de reluctancia de control de velocidad variable



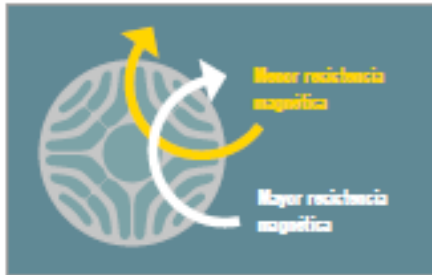
Efficiente motor síncrono de reluctancia

Esta serie de motores reúne las ventajas de los motores asíncronos y síncronos en un mismo accionamiento. El rotor no lleva ni aluminio, ni cobre, ni ceros imanes de tierras raras, sino chapas eléctricas con un perfilado especial puestas en fila. De esta manera, el accionamiento es más resistente y más sencillo de mantener.



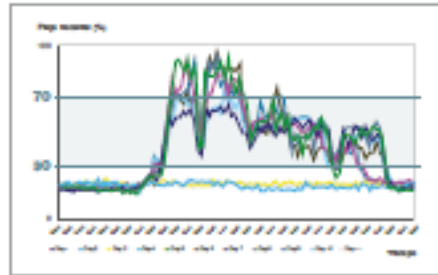
Combinación con un convertidor de alto desempeño

El convertidor de frecuencia de Siemens cuenta con un algoritmo de control especialmente adaptado al motor. Esta combinación perfecta, formada por un convertidor de frecuencia y un motor síncrono de reluctancia, permite a KAESER alcanzar el nivel máximo de desempeño de acuerdo a EN 5059: IES2.



Operación del motor de reluctancia

El par de fuerza de un motor síncrono de reluctancia viene dado por fuerzas de reluctancia. El rotor tiene polos marcados y está hecho de un material magnético blando, por ejemplo chapa eléctrica, que presenta una alta permeabilidad a los campos magnéticos.

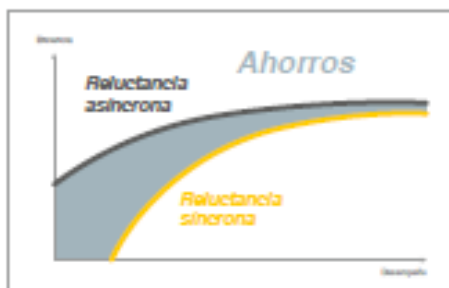


Costos de operación mínimos - alta productividad

La optimización del desempeño con respecto a motores asíncronos comparables, sobre todo en las etapas de carga parcial, permite ahorrar grandes cantidades de energía. El reducido momento de inercia de los motores síncronos de reluctancia permite una operación con ciclos muy cortos, lo cual mejora la productividad de un equipo o instalación.

Todas las **ventajas** a su favor

- ✓ Grado de desempeño óptimo de acuerdo a EN 50508
- ✓ Máximo rendimiento energético en el rango de control
- ✓ Accionamiento resistente y sencillo de mantener
- ✓ Tecnología de accionamiento del futuro
- ✓ Costos de operación mínimos, alta productividad y disponibilidad
- ✓ Listos para la Industria 4.0
- ✓ Equipo certificado EMC



Campo de aplicación de un compresor de control de velocidad variable con motor síncrono de reluctancia

Según un estudio, el perfil típico de consumo de aire comprimido se encuentra en un 30-70 % del consumo máximo. De esta forma, un compresor de tornillo de control de velocidad variable con motor síncrono de reluctancia puede ahorrar un máximo de energía en carga parcial.



Alto grado de desempeño en carga parcial

Los motores síncronos de reluctancia presentan un grado de desempeño muy superior al de los motores asíncronos en carga parcial. Esta mejora permite aumentar el flujo hasta en un 10% respecto a los modelos anteriores de control de velocidad variable.



Ejemplo de cálculo del ahorro gracias a la recuperación del calor con respecto a la calefacción por diésel (ASD 40)

Cantidad de calor mínima disponible:	24,9 kWh
Capacidad calorífica por litro de aceite para calefacción:	9,95 kWh/l
Eficiencia térmica del aceite:	90 % (0,9)
Precio por litro de aceite para calefacción:	0,60 USD/l
Ahorro de costos:	$\frac{24,9 \text{ kWh} \times 2000 \text{ h/a}}{0,9 \times 9,95 \text{ kWh/l}} \times 0,60 \text{ USD/l} = 419 \text{ USD al año}$

Más información sobre la recuperación del calor en:
<http://www.kawata.de/produkte/waermeerhaeltemaschinen/waermeerueckgewinnung>

Sistema de recuperación del calor

Calefacción (Invierno)



Con la recuperación del calor, todo son ventajas

Los compresores convierten en energía calorífica el 100 % de la electricidad que consumen. De ese total, hasta el 96 % está disponible para propósitos de recuperación de calor.

¡No lo deje escapar!



Calefacción de espacios con el aire caliente de salida

Calefacción de manera sencilla: El aire caliente que sale de los compresores puede recuperarse más fácilmente gracias a la alta presión diferencial de los ventiladores radiales. Luego el flujo de aire se dirige, regulado por un termostato, a un conducto que lo lleva hasta las estancias donde se necesita calefacción.



Agua para procesos, calefacción y de consumo

Con los sistemas de intercambiadores de calor SWT es posible producir agua caliente hasta 158 °F (70 °C) solo con el calor derivado por los compresores. Temperaturas más altas por encargo.

¹ Integrado en el equipo como opción



Agua caliente y limpia

Los intercambiadores de calor de seguridad son recomendables en los casos en los que no se instala un circuito de agua intermedio y las exigencias de calidad del agua a calentar son altas, como sucede con el agua para limpieza en la industria de la alimentación.

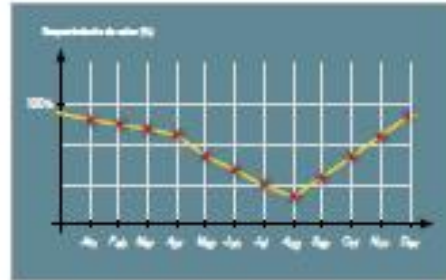
Recuperación del calor

Ahorro energético, versatilidad y flexibilidad



Sistemas de Intercambiadores PTG

Los intercambiadores de calor de placas PTG están formados por un paquete de placas de acero inoxidable estampadas y soldadas. Brindan una muy buena derivación térmica y son convincentes por su estructura compacta. Los intercambiadores PTG pueden integrarse en sistemas de alimentación de agua caliente para aplicaciones industriales.



Energía consumida en calefacción al cabo del año

Es evidente que en invierno hay que usar la calefacción. Pero es posible que en primavera y en otoño también la necesitemos, ya sea en mayor o menor medida. La calefacción se utiliza hasta 2000 horas al año, dependiendo de la zona.



Cuidar los recursos energéticos

Observando el aumento de precio de todas las formas de energía, queda claro que el ahorro de energía no es ya solo una cuestión ecológica, sino también un factor económico importantísimo. El calor que se recupera de los compresores puede utilizarse para calefacción en los meses más fríos del año, pero también para procesos durante todo el año, esto permite ahorrar energía.



Suministro de calor al sistema de calefacción

Es posible recuperar hasta un 70 % de la potencia suministrada a los compresores por medio de los sistemas de calefacción y agua caliente existentes. Así se reduce notablemente el consumo energético primario necesario para calefacción y agua caliente.



15

Equipo

Instalación completa

Listo para la puesta en marcha, totalmente automático, aislamiento contra ruido y vibraciones, paneles protectores recubiertos con pintura electrostática; funcionamiento a temperaturas ambiente de hasta 113 °F (+45 °C).

Insonorización

Recubrimiento interior con lana mineral laminada.

Aislamiento contra vibraciones

Elementos metálicos, doble aislamiento.

Unidad de compresión

Unidad de compresión fabricada por KAESER, de una etapa, con inyección de aceite para un enfriamiento óptimo de los rotores diseñados con el PERFIL SIGMA, sistema de acoplamiento 1:1.

Accionamiento

Accionamiento directo sin engranes, acoplamiento flexible.

Motor eléctrico

Motor IE4 de Eficiencia Super Premium, fabricado en Alemania, IP 55, material aislante clase F como reserva adicional; sensor de coeficiente positivo de temperatura PT100 para supervisión del motor; rodamientos lubricables.

Opción SFC

Motor sincrónico de reluctancia, fabricado en Alemania, IP 55, con convertidor de frecuencia Siemens, grado de desempeño IES2, rodamientos del motor lubricables.

Componentes eléctricos

Gabinete de control IP 54; transformador de control, convertidor de frecuencia Siemens; contactos libres de potencial para técnica de ventilación.

Circuito de aceite y aire de enfriamiento

Filtro de aire de admisión seco; válvula de admisión neumática; tanque separador de aceite con sistema de separación de tres etapas; válvula de seguridad, válvula de retención y de presión mínima, válvula térmica, sistema de control de temperatura y filtro de aceite en el circuito de fluido de enfriamiento, todas las conducciones entubadas, conexiones flexibles.

Enfriamiento

Enfriado por aire; enfriadores de aluminio separados para aire comprimido y fluido de enfriamiento; ventilador radial con motor eléctrico separado, sistema electrónico de control de temperatura ETM.

Secador refrigerativo

Sin FCKW, agente refrigerante R 134a, equipo completamente aislado, circuito de refrigeración cerrado herméticamente, compresor de gas de platóon excéntrico con económica función de desconexión, regulación por bypass de aire caliente, dren de condensados electrónico, separador centrífugo preconectado.

Recuperación del calor (RC)

Opcionalmente, equipados con sistema PTG (Intercambiador de calor de placas) integrado.

SIGMA CONTROL 2

Indicadores de LED tipo semáforo para mostrar el estado de servicio; pantalla de fácil lectura, 30 idiomas a elegir; teclas de membrana con símbolos gráficos; supervisión totalmente automática y regulación Dual, Quadro, Varlo, Dynamic y Continuo a elegir de serie; interfaz de Ethernet; módulos de comunicación opcionales para: Profibus DP, Modbus, Profinet y DeviceNet; puerto para tarjeta de memoria SD para grabar datos y realizar actualizaciones; lector de radiofrecuencia RFID, servidor de red integrado.

SIGMA AIR MANAGER 4.0

La regulación adaptativa 3-D^{smart} calcula con antelación toda una serie de posibilidades y elige entre ellas la más eficiente desde el punto de vista del consumo energético. De esta forma, el SIGMA AIR MANAGER 4.0 es capaz de adaptar adecuadamente el flujo y el consumo energético de los compresores al consumo real de cada momento.

Esta mejora es posible gracias a la PC Industrial integrada con procesador multi-núcleo, combinado con la regulación adaptativa 3-D^{smart}. Los convertidores bus (SBU) de SIGMA NETWORK abren distintas posibilidades de ajuste a las necesidades individuales de cada cliente.

Los SBU pueden tener módulos de salida digitales y analógicos así como también puertos SIGMA NETWORK que permiten la indicación del flujo, del punto de rocío, la potencia o los avisos de avería.

Funcionamiento

Un motor eléctrico (4) acciona la unidad de compresión (3). El aceite es inyectado primeramente para propósitos de enfriamiento durante el proceso de la compresión, después, se vuelve a separar del aire nuevamente en el tanque separador de aceite (5). El ventilador integrado permite el enfriamiento del compresor y el flujo de aire de enfriamiento necesario en los postenfriadores, enfriados por aire, de aceite y aire comprimido (8, 9).

El controlador asegura que el compresor produce aire comprimido dentro de los límites de presión ajustados. Las funciones de seguridad protegen al compresor frente a cualquier posible avería en algún elemento básico del sistema mediante una desconexión automática.

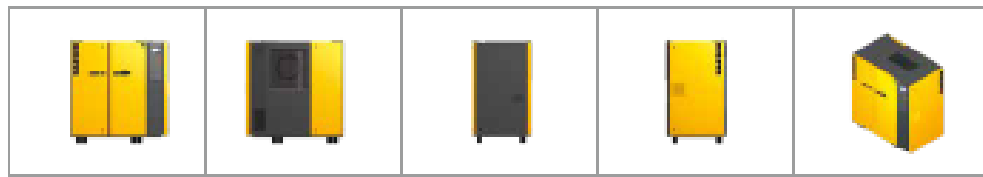
- (1) Filtro de aire de admisión
- (2) Válvula de admisión con válvula de retención
- (3) Unidad de compresión con PERFIL SIGMA
- (4) Motor principal IE4
- (5) Tanque separador de aceite
- (6) Postenfriador de aire comprimido
- (7) Separador centrífugo KAESER
- (8) Dren de condensado (ECO DRAIN)
- (9) Enfriador de aceite
- (10) Válvula electrónica de control de temperatura
- (11) Filtro de aceite ecológico
- (12) Ventilador radial
- (13) Secador refrigerativo integrado
- (14) Gabinete de control con convertidor de frecuencia SFC integrado



Datos técnicos

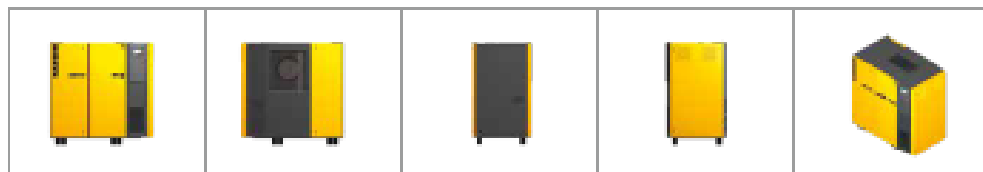
Modelos básicos

Modelo	Presión de trabajo psig	Caudal ¹⁾ rotación completa cfm	Máxima presión de operación psig	Potencia nominal motor hp	Dimensiones L x A x H pulgadas	Conexión de aire comprimido	Nivel de presión acústica ²⁾ dB(A)	Peso lbs
ASD 25	15a	110	15a	2a	27 1/2 x 24 1/2 x 80 1/2	1 1/2 NPT	85	1,24a
ASD 30	15a	120	15a	30	27 1/2 x 24 1/2 x 80 1/2	1 1/2 NPT	87	1,26b
	17a	110	17a					
ASD 40S	15a	160	15a	40	27 1/2 x 24 1/2 x 80 1/2	1 1/2 NPT	87	1,22c
	17a	107	17a					
ASD 40	15a	161	15a	40	27 1/2 x 24 1/2 x 80 1/2	1 1/2 NPT	85	1,24d
	17a	149	17a					
	207	100	207					



Modelos GFC con controlador de velocidad

Modelo	Presión de operación psig	Caudal ¹⁾ de equipo completo a presión de operación cfm	Máxima presión de operación psig	Potencia nominal motor kW	Dimensiones L x A x H pulgadas	Conexión de aire comprimido	Nivel de ruido ³⁾ dB(A)	Peso lbs
GFC 25	110	27 - 180	15a	20	60 1/2 x 24 1/2 x 80 1/2	1 1/2 NPT	85	1,66a
	15a	27 - 164	15a					
GFC 30S	110	30 - 18a	15a	30	60 1/2 x 24 1/2 x 80 1/2	1 1/2 NPT	85	1,66b
	15a	27 - 17a	15a					
GFC 30	110	40 - 317	14a	30	60 1/2 x 24 1/2 x 80 1/2	1 1/2 NPT	85	1,24d
	15a	41 - 280	14a					



¹⁾ Caudal real de acuerdo a la norma ISO 10171-1000, unless C.E., presión de entrada 14a psig (1 bar), sensores de enfriamiento y de entrada de aire 80 °F (30 °C)

²⁾ Nivel de presión de ruido acorde a la norma SAE J1071 y la norma técnica ISO 9894-1; tolerancia ± 3 dB (A)

³⁾ Potencia acústica (SW) a una temperatura ambiente de 80 °F (30 °C) y 50 % de humedad relativa

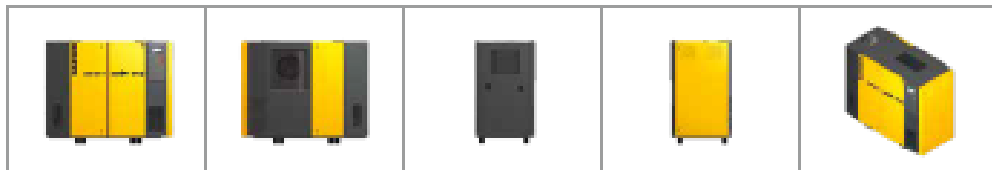
Modelo T con secador refrigerativo integrado (según refrigerante R 134a)

Modelo	Presión de operación	Flujo ¹ del equipo completo a presión de operación	Máxima presión de operación	Potencia nominal motor	Potencia absorbida secador refrigerativo ²	Dimensiones L x A x H	Conexión de aire comprimido	Nivel de ruido ³	Peso
	psig	dm ³	psig	hp		pulgadas		dB(A)	kg
AIO 2a T	10a	110	10a	2a	0,00	60 1/2 x 26 1/2 x 60 1/2	1/4 NPT	55	1,2x4
AIO 30 T	10a	100	10a	30	0,00	60 1/2 x 26 1/2 x 60 1/2	1/4 NPT	57	1,2x9
	17a	110	17a						
AIO 400 T	10a	100	10a	40	0,00	60 1/2 x 26 1/2 x 60 1/2	1/4 NPT	57	1,2x4
	17a	107	17a						
	217	100	217						
AIO 40 T	10a	101	10a	40	0,00	60 1/2 x 26 1/2 x 60 1/2	1/4 NPT	55	1,2x9
	17a	109	17a						
	217	100	217						



Modelo SP5-T con variador de velocidad y secador refrigerativo integrado (según refrigerante R 134a)

Modelo	Presión de operación	Flujo ¹ del equipo completo a presión de operación	Máxima presión de operación	Potencia nominal motor	Potencia absorbida secador refrigerativo ²	Dimensiones L x A x H	Conexión de aire comprimido	Nivel de ruido ³	Peso
	psig	dm ³	psig	HP		pulgadas		dB(A)	kg
SPC 20 T	110	27 - 100	10a	20	0,00	40 x 26 1/2 x 60 1/2	1/4 NPT	55	1,2x4
	10a	27 - 104	10a						
SPC 300 T	110	20 - 10a	10a	30	0,00	40 x 26 1/2 x 60 1/2	1/4 NPT	55	1,2x4
	10a	27 - 104	10a						
SPC 30 T	110	40 - 217	10a	30	0,00	40 x 26 1/2 x 60 1/2	1/4 NPT	50	1,5x9
	10a	40 - 200	10a						



Siempre cerca de usted

KAESER COMPRESORES está presente en todo el mundo como uno de los fabricantes de compresores de tornillo más importantes.

Sus filiales y socios distribuidores permiten a usuarios de más de 100 países disponer de las soluciones de aire comprimido más modernas, confiables y económicas.

Especialistas e Ingenieros con experiencia le ofrecen un asesoramiento completo y soluciones en todos los campos del aire comprimido. Además, la red informática global del grupo internacional de empresas KAESER permite a todos los clientes el acceso a sus conocimientos.

Y para terminar, la red de asistencia técnica, con personal altamente calificado, garantiza la disponibilidad de todos los productos KAESER.



KAESER COMPRESORES de México S. de R.L. de C.V.

Calle 2 No. 123 – Parque Industrial Jurica 78100 Querétaro – Qro. – México Tel: (52)(442) 218-8448
Fax: (52)(442) 218-8449 – E-mail: sales.mexico@kaeser.com - www.kaeser.com

Anexo 3. Informe de “INDUSTRIAS ALIMENTICIAS DOÑA JUANITA S.A”-

Nota explicativa del compresor usado según norma ISO 8573-1 Clase 2.6.2

Para aplicaciones de neumática industrial se recomienda una calidad de aire ISO 8573-1 Clase 2.6.2. La Clase se la determina por 3 números separados por puntos, y que indica la concentración máxima de partículas sólidas, agua o vapor de agua, aceites y vapor en ese respectivo orden. Entre menor sea el número mejor la calidad.

Compressed Air Quality ISO 8573.1

Class	SOLID PARTICLES (Maximum number of particles per m ³)			Water Pressure Dewpoint (F°)	Oil Solids & Vapor (mg/m ³)
	0.1-0.5 micron	0.5-1.0 micron	1.0-5.0 micron		
1	100	1	0	-94.0	.01
2	100,000	1,000	10	-40.0	0.1
3	-	10,000	500	-4.0	1.0
4	-	-	1,000	37.4	5.0
5	-	-	20,000	44.6	-
6	-	-	-	50.0	-

Figura 2: Concentración de contaminantes máximos permitidos para cumplir con la norma ISO 8573.1

El primer dígito indica las partículas sólidas que se encuentran suspendidas en el aire, dentro del compresor durante el desgaste normal de funcionamiento, y la corrosión de las tuberías y tanques de almacenamiento del aire comprimido. Para llegar a la Clase 2 se requiere instalar un filtro de coalescente fino o de partículas fino de alta eficiencia.

El principal contaminante por su cantidad y el más común es el agua o vapor que por lo general se condensa en la tubería cuando no se ha dado el tratamiento adecuado. El agua proviene de la humedad ambiental que al comprimirse se condensa y el aire se satura al 100%. Se recomienda tener un punto de rocío de al menos de +10° C (Clase 6), esto se lo alcanza instalando un filtro coalescente de propósito general, coalescente fino y un secador refrigerativo.

El tercer número indica la concentración de aceite que es el más peligroso para la salud humana, el aceite proviene de las trazas de hidrocarburo en el aire debido a la deficiente combustión en vehículos e industrias así como también del aceite lubricante de los compresores. Para sistemas neumáticos se alcanza la Clase 2 instalando los filtros coalescentes de grado general (pre-filtro) y grado fino (post-filtro).

Para contacto directo con el producto se recomienda fuertemente que la concentración sea cero para evitar cualquier contaminación del producto. Eso se lo logra con un compresor libre de aceite. Si no es posible instalar un compresor libre de aceite, se debe eliminar al máximo, esto se logra instalando un filtro de carbón activado; para ello el aire debe estar seco en lo posible ya que el carbón activado tiende a adsorber vapor de agua y disminuir su eficiencia y vida útil. Como el carbón activado desprende polvo el movimiento de sus partículas por el flujo del aire y vibraciones se debe instalar un filtro de

Anexo 4. Informe de “INDUSTRIAS ALIMENTICIAS DOÑA JUANITA S.A”-

Esquema red neumática.

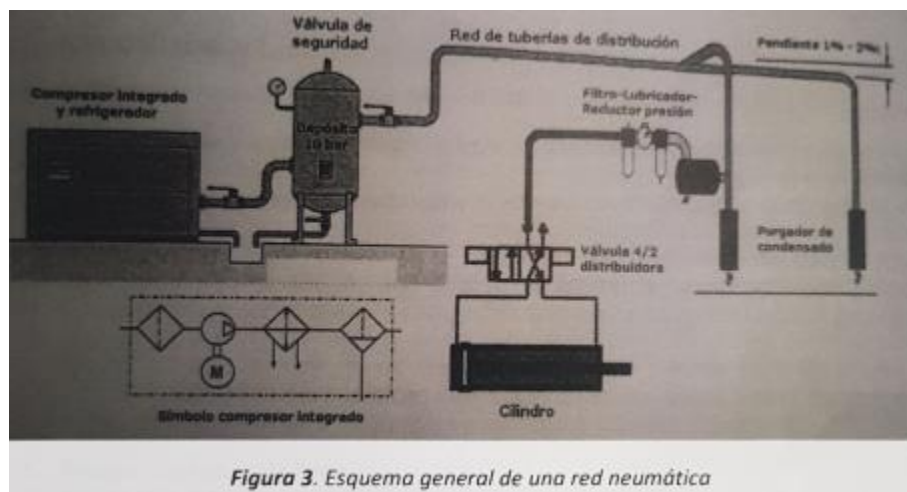


Figura 3. Esquema general de una red neumática

Generación de aire comprimido.

La presión promedio en la línea, en el sistema neumático, es de 6 bar (man), según lo recomiendan las normas o las necesidades normales de la industria. Por consiguiente, se requiere un compresor de aire para generar presión solo alrededor de este valor. En una fábrica pequeña, que puede requerir una alimentación moderada de aire comprimido, puede ser suficiente cualquier tipo de compresor portátil para aire con dos etapas, para alimentar esta cantidad de presión. Para las plantas más grandes, se pueden usar otro tipo de compresores de alta capacidad, según se necesite. En su mayor parte, los compresores de aire son estacionarios y son accionados por motores diesel o eléctricos. En la industria se utilizan principalmente compresores del tipo reciprocante. Un compresor de aire que es muy popular para los sistemas de bajo volumen y baja presión es el rotatorio del tipo de paletas. En este caso, la cámara de aire se forma por la pared de la carcasa y el rotor y la paleta

Selección de la tubería para el sistema.

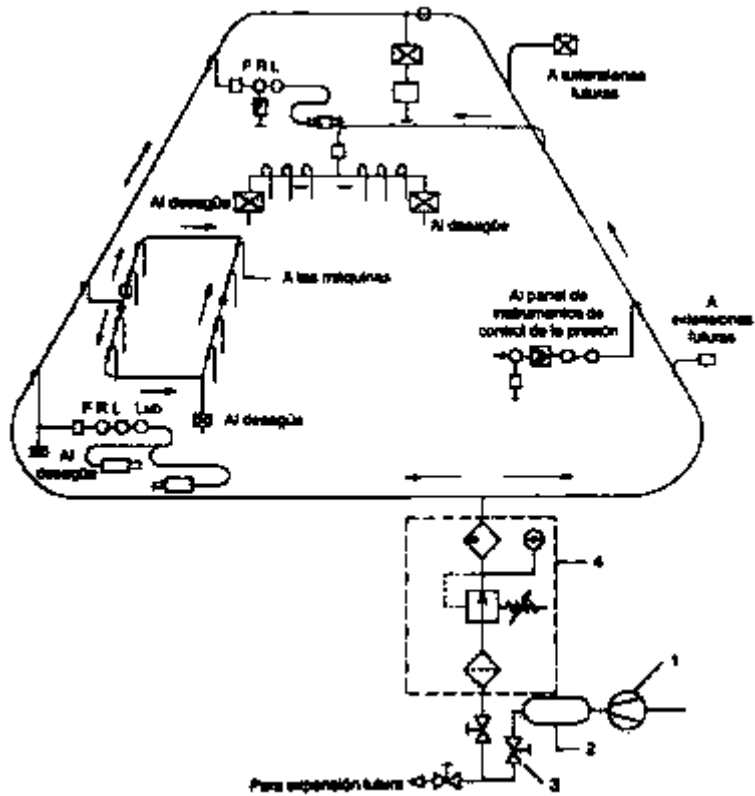
En la mayor parte de las plantas, el compresor de aire se lo coloca a cierta distancia del taller principal y del área de instalaciones; es decir, del punto real de consumo, debido a razones del problema de ruido llevados por el aire o relacionadas con la seguridad de la maquinaria y otros problemas de operación, como la transmisión de vibración y demás del equipo. El aire comprimido se almacena en un tanque de compresión, del cual se lleva al punto del consumo por medio de una tubería. Al tender la tubería neumática para el sistema, se debe tener suficiente cuidado y poner atención en ver que la caída de presión, desde el punto de generación hasta el de consumo, permanezca tan baja como se pueda. Por razones económicas, siempre es mejor si la caída de presión se limita a un valor máximo de 0.1 bar, o incluso menos. Al seleccionar los tubos neumáticos y otras instalaciones de la línea de aire, se toman en cuenta los factores siguientes:

1. Presión de aire en la línea.
2. Gasto total a través de la línea.
3. Caída de presión admisible en la línea.
4. Tipo de material del tubo y tipo de accesorios de la línea.
5. Longitud y diámetro del tubo o de otras tuberías.
6. Medio ambiente de trabajo, etc.

Sistema de circuito cerrado en la disposición de la tubería.

Al tender el sistema de tuberías de aire comprimido, el único factor al que se le debe dar una importancia primordial es el de reducir la caída en la presión en el extremo más alejado de la tubería. Esto es muy importante para el uso económico global del aire comprimido. Con el fin de lograrlo, es esencial que se use el tipo de tubería de circuito cerrado, como se ilustra en la figura 2, y debe descartarse, tanto como se pueda, la disposición de las tuberías en largas distancias rectas. Se deben utilizar un número mínimo de codos en la línea para mantener lo más bajas que se puedan las pérdidas debidas a la fricción.

Anexo 5. Diagrama de circuito cerrado.



Fuente: Investigación de campo.

Anexo 6. Tipos de cilindros neumáticos.



Cilindros neumáticos típicos, simple efecto, doble efecto, guiado, impacto y

Fuente: Investigación de campo.

Anexo 7. Diámetro interior de la red de tuberías.

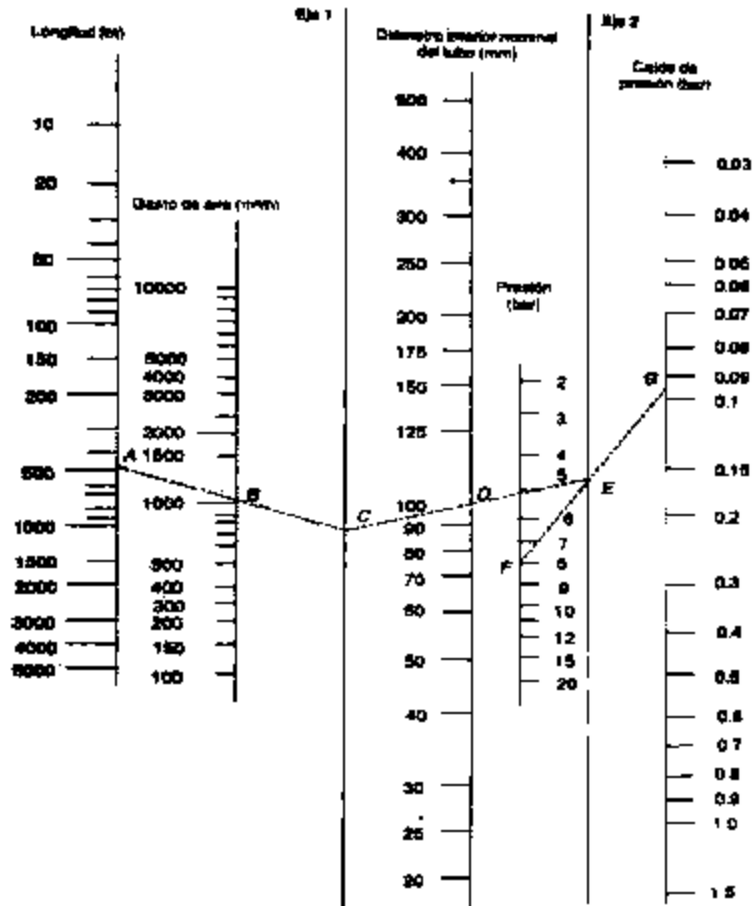
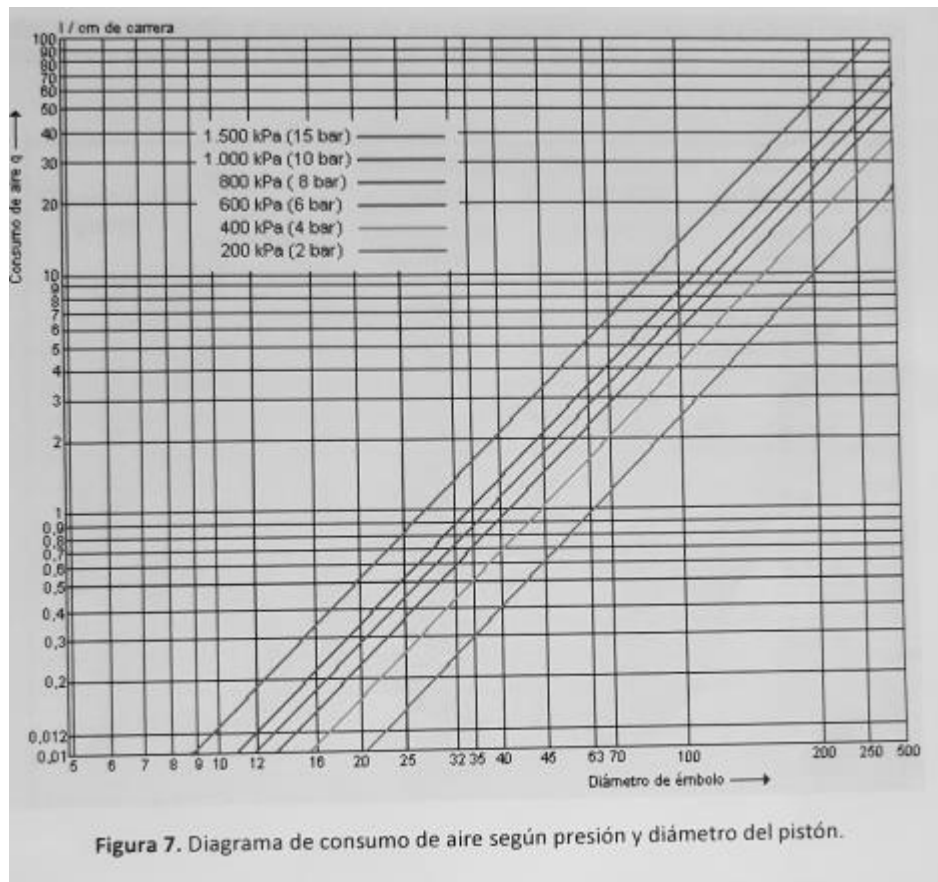


Figura 5. Determinación del diámetro interior de la red de tuberías de aire comprimido.

Anexo 8. Diagrama de consumo de aire según presión y diámetro del pistón.



Anexo 9. Entrada: “INDUSTRIAS ALIMENTICIAS DOÑA JUANITA S.A”

Fotos de planta



Figura 39. Entrada principal Empresa
Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 40. Placa característica del motor del compresor
Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 41. Placa del tanque de depósito del compresor

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 42. Compresor y secador instalado en la planta doña juanita

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 43. Secador del compresor

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 44. Maquina sachetadora de 4 vias

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 45. Maquina taponadoras de tacho

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 46. Maquina taponadoras de tacho

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 47. Maquina taponadoras de tacho

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 48. Maquina dosificadora

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 49. Unidad de mantenimiento y válvulas de maquina embotelladora

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 50. Maquina Tapadora de salsa de tomate de galón

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 51. Maquina servilletera.

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 52. Banda transportadora de salsa de tomate en galón

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 53. Maquina servilletera

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 54. Selladora de botellones de agua

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 55. Llenado y sellado de botellas de agua.

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 56. Llenado y sellado de botellas de agua.

Fuente: Investigación de campo, 2019



Figura 57. Máquina de llenado y embotellado.

Fuente: Investigación de campo, 2019

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **MENIETA BAJAÑA, VICTOR ALFONSO** con C.C: # 0920359734 autor del Trabajo de Titulación: **ANÁLISIS DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN NEUMÁTICA PARA EL CÁLCULO DE LA POTENCIA DE UN COMPRESOR DE VELOCIDAD VARIABLE, CON MOTOR DE RELUCTANCIA VARIABLE Y VARIADOR DE FRECUENCIA** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 18 de marzo del 2019

f. _____

Nombre: MENIETA BAJAÑA VICTOR ALFONSO

C.C: 0920359734

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	ANÁLISIS DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN NEUMÁTICA PARA EL CÁLCULO DE LA POTENCIA DE UN COMPRESOR DE VELOCIDAD VARIABLE, CON MOTOR DE RELUCTANCIA VARIABLE Y VARIADOR DE FRECUENCIA.		
AUTOR(ES)	Victor Alfonso Mendieta Bajaña		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Jimmy Salvador Alvarado Bustamante		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico-Mecánico		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	18 de marzo del 2019	No. DE PÁGINAS:	117
ÁREAS TEMÁTICAS:	Red de distribución neumática, compresores, motores de reluctancia variable, variador de frecuencia.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Neumática, factor de simultaneidad, emisiones al ambiente, compresor de pistones, compresor de tornillo		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>El presente proyecto de análisis de la factibilidad de una red de distribución neumática para el cálculo de la potencia de un compresor de velocidad variable con motor de reluctancia variable y variador de frecuencia se basa en el levantamiento de información de una empresa dedicada a la producción alimenticia con 7 líneas de procesos, se basa en los cálculos sobre el volumen de carga y factor de simultaneidad de una red neumática, a fin de lograr un diseño más eficiente para el ahorro energético de un compresor de aire comprimido controlado a través de una interfaz proactiva y de fácil interpretación. La metodología aplicada es de tipo cuantitativo, cualitativo y experimental, con técnicas de observación de campo, revisión y monitoreo de los sistemas de la red neumática y la revisión documental al respecto de normativa internacional; así como el cálculo de consumo energético de la planta en sus presiones mínimas y máximas. Utilizando herramientas ofimáticas, herramientas para medir la calidad de energía y emisiones al ambiente. Se concluyó con un análisis de costo beneficio que demostró un ahorro significativo en dólares y lo atractivo que el proyecto de transición de un compresor de pistones hacia un compresor de tornillos representa para la industria alimenticia, la baja emisión de gases y de contaminantes químicos, los bajos costos de mantenimiento, el bajo nivel de ruido, el análisis técnico económico y la ventaja preponderante del equipo planteado..</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0993188120	E-mail: victoralfonso_br@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Ing. Luis Orlando Philco Asqui		
	Teléfono: 0980960875		
	E-mail: luis.philco@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			